



Artículo

Las ciencias de la vida y la biotecnología en la nueva sociedad del conocimiento. La base de la nueva economía

<http://www.uoc.edu/dt/esp/saigi1104.pdf>

—
Francesc Saigí y Asunción López



Artículo

Las ciencias de la vida y la biotecnología en la nueva sociedad del conocimiento. La base de la nueva economía*

<http://www.uoc.edu/dt/esp/saigi1104.pdf>

Francesc Saigí y Asunción López

Resumen

El objetivo de este artículo es invitar a la reflexión sobre la evolución que la biotecnología y las ciencias de la vida han experimentado en la última década y el papel relevante que indiscutiblemente tendrán en la nueva economía.

Al igual que las tecnologías de la información y la comunicación, la biotecnología y las ciencias de la vida son tecnologías instrumentales que pueden aplicarse para alcanzar una amplia gama de objetivos dirigidos a obtener beneficios tanto sociales, como económicos y medioambientales.

La revolución que han experimentado en la última década, gracias al potencial aplicado por las tecnologías de la información, y el papel que tendrán en el futuro abrirán nuevas posibilidades para dirigir la economía mundial hacia un desarrollo más sostenible y una mejor calidad de vida. Transformarán el modelo de desarrollo sostenible que durante años las sociedades más avanzadas han ido aplicando, lo que se plasmará en nuevas y espectaculares aplicaciones en medicina, agricultura, alimentación industria, medio ambiente y, también, en nuevos descubrimientos científicos.

En la nueva economía, la biotecnología y las ciencias de la vida se configuran como una nueva dimensión desde la que se podrán abordar las necesidades y las expectativas de la sociedad presente y futura.

«La expansión de la base de conocimientos científicos va acompañada de una rápida transformación de los descubrimientos científicos más recientes en usos prácticos y productos; por tanto, de un potencial de creación de riqueza: se renuevan viejas industrias y se forman nuevas empresas, que crean puestos de trabajo altamente cualificados sobre los que se sostiene la economía del conocimiento. La biotecnología y las ciencias de la vida son probablemente las ramas más prometedoras de las recientes tecnologías.»

COM (2002) 27 final. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de Regiones

Palabras clave

biotecnología, ciencias de la vida, nueva economía, bioeconomía, biomedicina, bioinformática, sostenibilidad

En plena sociedad del conocimiento

La sociedad de la información de hoy surgió como respuesta necesaria a la crisis de los años setenta y significó el final del mito de toda una época, «el mito del crecimiento indefinido», que iba acompañado de una enorme insensibilidad ecológica y un gran

menosprecio a los problemas del Tercer Mundo. Sólo el conocimiento, la información, apoyado en la tecnología, permitiría mantener el desarrollo de los países. La idea era simple: «Para depender menos de la energía tenemos que depender más del conocimiento; para evitar procesos de fabricación y transporte de objetos que consuman grandes cantidades de combustibles fósiles, lo que tenemos que fabricar y transportar son bits de información».¹

*Esta publicación es una ampliación del artículo publicado en la revista QUARK: Saigí, Francesc; López, Asunción (2004, julio-septiembre). «Ciencias de la vida y biotecnología en la nueva sociedad del conocimiento». *Quark: Ciencia, Medicina, Comunicación y Cultura* (nº 33). ISSN 1135-8521.

1. Gaspar Ariño (2002). «La sociedad de la información: vuelta a las raíces». *Expansión Directo*. Expansión. Número 20.



Es hoy cuando, en plena sociedad del conocimiento, nos encontramos con el problema de que el medio ambiente está cada vez más comprometido, y el *Prestige* es el último de la larga lista de desastres de la industria del petróleo. Por otro lado, con los recursos alimenticios afectados por múltiples causas y cada vez más escasos en muchos países, el escenario de los próximos veinte años será sumamente complicado. El informe anual del conjunto de Naciones Unidas y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) revela que en el último año cinco millones de personas se infectaron del virus del sida, lo que ha elevado a 42 millones los afectados.² La OMS ha revelado también que un nuevo agente patógeno, un miembro de la familia de los coronavirus nunca detectado en los seres humanos, es la causa del síndrome respiratorio agudo severo (SRAS), que, con una tasa de mortalidad alrededor del 6%, ha provocado estragos ya en China, Japón, Singapur, Hanoi y Canadá.^{www1} Y es que todavía no se conocen los remedios para curar más de la mitad de las enfermedades del mundo; los remedios más frecuentemente usados, como los antibióticos, son cada vez menos eficaces debido al uso indiscriminado que hacemos de ellos y la resistencia que esto genera al tratamiento. También es preocupante el cambio climático que está sufriendo nuestra atmósfera a causa del efecto invernadero; el casquete de hielo ártico se ha adelgazado un 40% durante los últimos cuarenta años y se espera una pérdida de hielo mucho mayor en el futuro si los gases del efecto invernadero en la atmósfera continúan aumentando.³ Estos son algunos de los ejemplos que cuestionan, de forma indiscutible, la sostenibilidad del modelo de desarrollo que durante años hemos estado aplicando.

La solución a estos problemas no es fácil y requiere la participación conjunta de muchos sectores, tanto políticos, como científicos y sociales. No obstante, una de las herramientas fundamentales para paliar algunos de estos problemas se basa en el uso de la **biotecnología**, que, desde una óptica global, se espera que en los próximos veinte años transforme los sectores de la salud, farmacéuticos, y de la agricultura, alimentación y medioambiente (DaSilva, 1998), y con ellos el valor de la nueva economía. La biotecnología se encuentra en una fase de crecimiento exponencial que abre nuevas **posibilidades** para dirigir la economía mundial hacia un desarrollo más sostenible y una mejor calidad de vida.⁴

Las ciencias de la vida y la biotecnología

El convenio sobre la diversidad biológica de 1992 define, en términos generales, la biotecnología como toda aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos o derivados

de éstos, para realizar o modificar productos o procedimientos con un uso específico.^{www2} Las técnicas biotecnológicas encuentran su primera utilidad en el avance de las ciencias de la vida.

Las ciencias de la vida y, en concreto, la biotecnología son palabras de reciente aparición. Sin embargo, hay que señalar que ha existido una biotecnología «tradicional» desde hace miles de años, que ha permitido al hombre hacer pan, vino, cerveza, producir queso y yogur, y también conservar carnes. La aparición de nuevas técnicas derivadas de la investigación, especialmente en biología molecular y celular, dio lugar a la utilización industrial de microorganismos con aplicaciones que van desde la producción de vacunas recombinantes hasta el desarrollo de nuevos medicamentos, tales como la insulina, hormonas de crecimiento, enzimas y otras proteínas de origen recombinante. De este modo, las ciencias de la vida y la biotecnología se consideran como una de las tecnologías punteras más prometedoras de los próximos tiempos y, cómo no, también peligrosas. La última revolución tecnológica, la ingeniería genética,⁵ supone un salto cualitativo en el mundo de la ciencia. La secuenciación completa del genoma humano (Proyecto genoma humano, PGH, que busca la identificación del hombre celular y genéticamente) ha dado lugar a que comience la era *postgenómica*.^{www3} Este hito tecnológico e histórico ha abierto las puertas para descifrar la funcionalidad de los

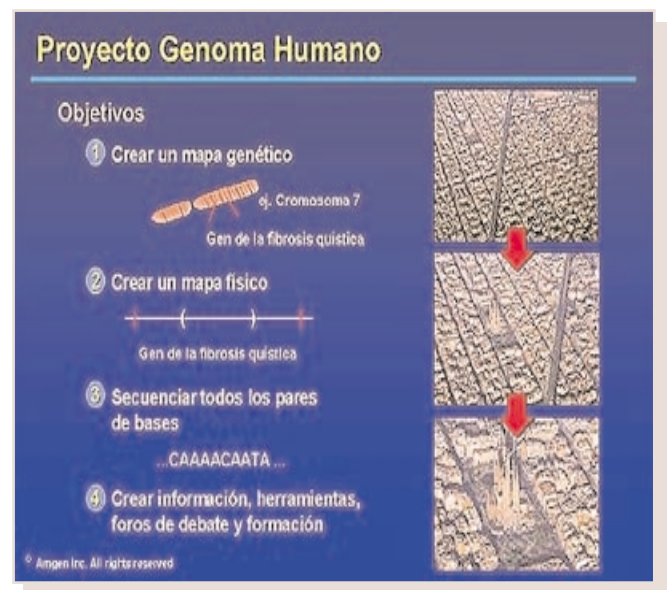


Figura 1. Fuente: Amgen S.A.^[www4]

2. Walter Oppenheimer (2002, 27 de noviembre). «El VIH causa tres millones de muertes e infecta a cinco millones de personas en 2002». *El País*.

<http://www.elpais.es/articuloCompleto.html?d_date=&xref=20021127elpepisoc_1&type=Tes&anchor=elpepisocurl>

3. National Science Foundation (<http://www.nsf.gov/od/lpa/news/02/pr0298.htm>).

4. OECD (2001). *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability* (www.oecd.org/sti/biotechnology).

5. La ingeniería genética, también llamada transformación genética, tecnología transgénica, tecnología de ADN recombinante, tecnología de modificación de ADN o tecnología de modificación genética (MG), es una aplicación de la biotecnología que involucra la manipulación de ADN y el traslado de genes entre especies para incentivar la manifestación de rasgos genéticos deseados (OTA 1992).

[www1]: <http://www.who.int/mediacentre/releases/2003/pr31/en/print.html>

[www2]: Biotecnología y seguridad alimentaria. <http://www.fao.org/worldfoodsummit/spanish/fsheets/biotech.pdf>

[www3]: Biotecnología: objetivos del proyecto y era postgenómica. http://biotec.amgen.es/cgi-bin/wdbcgi.exe/amgen/pak_biotech.muestradoc?p_item=18

[www4]: http://biotec.amgen.es/cgi-bin/wdbcgi.exe/amgen/pak_biotech.muestradoc?p_item=18



genes humanos y así poder entender y tratar, mediante terapia génica, la erradicación de muchas de las patologías que nos afectan, como son los trastornos genéticos, enfermedades neurodegenerativas y cardiovasculares, cáncer y enfermedades infecciosas. En la actualidad nadie cuestiona el potencial científico de la biotecnología, y el interés económico se centra en saber cuáles son las partes de la secuencia útiles en el diseño de nuevos fármacos.⁶ La biotecnología moderna se configura hoy en día como una ciencia multidisciplinar que engloba la genética molecular, la ingeniería química y de proceso, la anatomía animal y vegetal, la bioquímica, la microbiología, la inmunología, la biología celular, la agricultura, la electrónica y la informática, entre otras muchas ciencias (Desmetre, 1993).

No obstante, uno de los problemas con los que se enfrenta la biotecnología es el rechazo social por un problema de valores, de tolerancia, ya que no existe el riesgo cero.

Aplicaciones de la biotecnología y ciencias de la vida en la sanidad

«Al hablar de sociedad del conocimiento nos referimos a un nuevo paradigma tecnológico que tiene dos expresiones fundamentales: una es Internet y la otra es la capacidad de ingeniería genética, el concomitante ADN o la capacidad de recodificar los códigos de la materia viva y, por tanto, de ser capaz de procesar y manipular la vida. (...) Por consiguiente, estamos generando una doble revolución en la información que es genética y de índole electrónica, pero que interactúan cada vez más. Se convierten en una revolución en la que todos los procesos de la información, incluso los códigos de la materia prima, pueden ser programados, desprogramados y reprogramados de otra forma.»

Manuel Castells. *La dimensión cultural de Internet*

Las nuevas tecnologías que ayudan a comprender el papel de los genes en las enfermedades están revolucionando los procesos de descubrimiento y desarrollo de nuevos medicamentos, con lo que ofrecen considerables oportunidades a la industria para reducir tiempos, costes y riesgos. La revolución de la asistencia sanitaria pasará por el concepto de *medicación a la carta* basa-

da en la predisposición genética, los cribados específicos, los diagnósticos y los tratamientos con fármacos innovadores.

Aplicación de la biotecnología en el desarrollo de metodologías para el diagnóstico y la prevención de enfermedades

Es indudable que en la era *postgenómica* podremos abordar en profundidad y a escala molecular las causas de muchas enfermedades, lo que permitirá una mejor calidad de vida de la humanidad. Durante los últimos veinticinco años, se han identificado más de 1.000 enfermedades en las que un solo gen es el responsable. Es el caso de la hemofilia, la fibrosis quística, la distrofia muscular, la neurofibromatosis y el retinoblastoma. Y gracias a la disponibilidad del genoma humano, a medida que progrese la investigación genética, se descubrirán los mecanismos que causan enfermedades afectadas por varios genes o por factores ambientales.

La biotecnología cambiará también la terapéutica en el diagnóstico de las enfermedades hereditarias. La predisposición genética está implicada en el desarrollo de enfermedades cardíacas, diabetes y varios tipos de cáncer. La identificación de los genes y sus proteínas, que influyen en un determinado proceso patológico, y su evolución a fármacos darán lugar a terapias y medidas de prevención más eficientes y una medicina más dirigida y personalizada. Se utilizará la tecnología de biochips⁷ para determinar la correlación entre expresión de genes y distintas enfermedades congénitas, actualmente incontrolables, y se identificarán los genes responsables, así como los que determinan las resistencias a los medicamentos en humanos.⁸

De este modo, la aplicación de la biotecnología en el campo de la salud va a permitir redefinir las enfermedades, en lugar de por fenotipo (síntomas), por genotipo (genes) y mecanismo causante, la posibilidad de descubrir un origen similar en varias enfermedades (el gen apoE interviene en el origen de enfermedades cardiovasculares y Alzheimer), el diseño de nuevos fármacos personalizados y la mejora del seguimiento de la terapia, lo que permitirá la valoración de rasgos genéticos que puedan tener incidencia en la respuesta a la misma, que inviten a variarla o a suprimirla en determinados casos (Hacia, 1996). La producción de medicamentos por métodos biotecnológicos sustituirá los proce-

6. La farmacogenómica utiliza información sobre el genoma humano en el diseño, el descubrimiento y el desarrollo de medicamentos.

7. Los biochips surgieron de la combinación de las técnicas microelectrónicas y el empleo de materiales biológicos. Se basan en la ultraminiaturización y el paralelismo implícito y se concretan en chips de material biológico de alta densidad de integración válidos para realizar distintos tipos de estudios repetitivos con muestras biológicas simples (Martín-Sánchez, F.; López-Campos, G.; Maojo García, V.).

Los biochips están divididos en unas pequeñas casillas que actúan cada una a modo de un tubo de ensayo en el que se produce una reacción. El número de estas casillas es muy elevado, ya que llega incluso a los centenares de miles.

Cada casilla del chip posee una cadena de un oligonucleótido, que puede corresponder a una sección del gen de estudio (cuando se conoce su secuencia) o a mutaciones del mismo. Debido a la extrema miniaturización del sistema, se pueden analizar en un único chip todas las posibilidades de mutación de un gen simultáneamente. Sólo aquellos fragmentos de ADN que hibriden permanecerán unidos tras los lavados, y dado que se conocen las secuencias y las posiciones de los oligonucleótidos empleados, tras los lavados se produce el revelado, que consiste en introducir el chip en un escáner óptico que va a ser capaz de localizar, mediante un proceso similar a la microscopía confocal, las cadenas marcadas con el fluorocromo. Un ordenador analiza la información procedente del escáner y ofrece el resultado (Wallace, 1997).

8. J.H. Kim (2002). «Bioinformatics and genomic medicine.» *Genet Med*, vol. 4 (supl. 6), págs. 62S-5S.



dimientos tradicionales por ser más seguros y más económicos. En pocos años tendremos un arsenal terapéutico amplio y con mayor especificidad.

El conocimiento de los rasgos genéticos de las poblaciones permitiría conocer además la predisposición a sufrir algunas enfermedades, antes de la aparición de síntomas, con lo que se podría llevar a cabo una mejor y auténtica medicina preventiva (Cho, 1998). En este entorno la prevención se entiende como la realización de acciones médicas, sobre el medio ambiente o sobre los hábitos de vida, encaminadas a reducir el riesgo de padecer enfermedades por parte de individuos susceptibles por razones genéticas (Martín-Sánchez *et al.*, 1999).

Aplicación de la biotecnología en el desarrollo de modelos para el tratamiento de enfermedades y de procesos ligados al envejecimiento

La biotecnología influirá en la prevalencia de las enfermedades crónicas y la capacidad de las personas para convivir más fácilmente con ellas, con el correspondiente efecto sobre el estado de salud y la calidad de vida, así como sobre las implicaciones económicas del envejecimiento de la población. Las diez principales enfermedades objeto de investigaciones para el desarrollo de una terapia génica personalizada comprenden cinco tipos de cánceres (melanoma, colon, mama, pulmón y próstata), aparte del Alzheimer, la diabetes de tipo II, la esquizofrenia, la alergia y la osteoporosis posmenopáusica.^{www5}

Para esta área de actuación son básicos los conocimientos sobre el papel que desempeñan los genes en los correspondientes procesos de diferenciación y desarrollo, así como los aportados por la secuenciación de genomas de distintas especies. En esta línea, una de las grandes sorpresas que deparó el análisis del genoma humano en el año 2001 fue que nuestra especie tenía unos 30.000 genes, sólo un 50% más que un gusano *C. elegans* (Kuwabara *et al.*, 2001). Recientemente se ha publicado en la revista *Nature* que el ratón también tiene 30.000 genes y que comparte con el ser humano al menos el 99% de ellos (Waterston *et al.*, 2002). La buena noticia es que los científicos podrán estudiar

casi todas las enfermedades humanas en el ratón. Alian Bradley, del Instituto Sanger, comenta en *Nature* un buen ejemplo de ello: «Los ratones con mutaciones en un gen llamado *p53* muestran una propensión al cáncer muy similar, si no idéntica, a la que sufren los humanos con mutaciones en el mismo gen. Las esperanzas de encontrar un fármaco que pueda eliminar esa propensión se ven multiplicadas por toda la batería de experimentos que se pueden hacer en el ratón (y no en el humano): inactivar el gen, repararlo, modificarlo en el tubo de ensayo y reintroducirlo en el animal, averiguar dónde y cuándo está activo, probar moléculas que bloqueen su efecto, examinar qué otros genes pueden compensarlo y muchas más» (Donehower *et al.*, 1992).

Otro de los trabajos presentados en *Nature* ilustra otra de las posibilidades abiertas por la proximidad genómica entre humanos y ratones. La trisomía 21 está asociada al síndrome de Down, la principal causa genética de retraso mental. El cromosoma 21 contiene 238 genes, lo que dificulta enormemente la investigación de este síndrome, y más cuando no se sabe nada de estos. Los investigadores han tomado los equivalentes en el roedor y han mirado dónde y cuándo se activan, y ya se han encontrado genes altamente sospechosos (Gitton *et al.*, 2002).

El conocimiento sobre las células madre y los mecanismos de diferenciación celular abren las vías a la sustitución de tejidos y órganos para tratar enfermedades degenerativas. La tecnología de clonación celular permite producir embriones a partir de un óvulo y sin espermatozoides. Con estos embriones se pretende obtener células madre (pluripotenciales) de un individuo, para desarrollar tejidos humanos susceptibles de curar

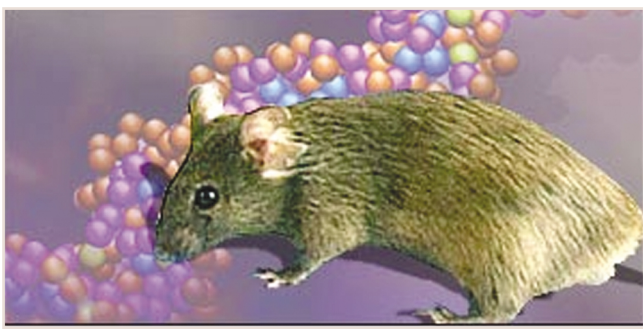


Figura 2. Fuente: BBC^{www6}



Figura 3. Imagen microscópica de un embrión-REUTERS.

[www5]: <http://www2.psiquiatria.com/noticias/genetica/9825/> (Este enlace requiere estar registrado previamente)

[www6]: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/2536501.stm>



enfermedades como la diabetes, el Parkinson, el Alzheimer o ciertas lesiones medulares, evitando el rechazo que se produce en los trasplantes.

Aplicación de la biotecnología en la producción de sustancias de interés terapéutico para la industria farmacéutica

En esta área de actuación, la capacidad de transferir genes de unas especies a otras posibilitará la modificación de microorganismos, plantas y animales que permitan la producción de nuevas hormonas, enzimas y otras proteínas de origen recombinante con fines terapéuticos. La primera proteína recombinante producida industrialmente mediante el cultivo de células de mamífero data del año 1987 y se corresponde con el activador de plasminógeno (tPA).⁹ Hoy en día se generan más de 200 proteínas humanas mediante esta técnica. Entre ellas destacan, por su importancia para la conservación de la salud, la eritropoyetina, empleada para tratar la anemia; la hormona de crecimiento, para combatir el enanismo; los interferones, que fortalecen el sistema inmunológico, y los factores de coagulación, requeridos por los hemofílicos. Por otro lado, existen ya plantas de tabaco que producen en sus hojas cantidades importantes de una lipasa animal que se usa en el tratamiento del asma en humanos.

A pesar de que las células de mamífero pueden generar proteínas de estructura compleja, la necesidad de obtener grandes cantidades de proteínas deficitarias en la práctica hospitalaria ha dirigido las investigaciones hacia la utilización de animales transgénicos como biorreactores (o reactores vivos), es decir, animales que produzcan directamente en sus células la proteína que requieren los humanos. En esta línea, existen vacas, ovejas y cabras en las que se han introducido, en las células productoras de la leche, genes (humanos) que codifican proteínas de gran interés terapéutico, con lo que este producto contiene cantidades importantes de la proteína deseada y de uso potencial para recién nacidos, enfermos y ancianos (Houdebine, 2002).

La biotecnología también facilitará el diseño de vacunas específicas para la protección humana contra las enfermedades humanas causadas por virus (como la gripe, hepatitis, sida) o por bacterias (tuberculosis, brucelosis, meningitis, neumonías), contra enfermedades infecciosas asociadas al sida, así como contra enfermedades parasitarias de incidencia en España (triquinosis, hidatidosis) o en países iberoamericanos (malaria, enfermedad de Chagas, leishmaniasis), o bien para la protección animal (patologías que afectan a las cabañas porcina, bovina, ovina o caprina, así como al sector piscícola).^{www7} La posibilidad de producir vacunas orales mediante la modificación de plantas (véase apartado «Aplicaciones de la biotecnología y ciencias de la vida en la agri-

cultura y la alimentación» / «Aplicación de la biotecnología para la producción de plantas transgénicas de interés nutritivo, sanitario e industrial») es una realidad; existen ya ensayos para vacunas de la hepatitis en patata y plátano, lo que permitiría su utilización para vacunar a la población de una manera fácil y eficaz, incluso en los países menos desarrollados.

Aplicaciones de la biotecnología y ciencias de la vida en la agricultura y la alimentación

«Estamos ante el nacimiento de una nueva agricultura, basada en la innovación tecnológica y con la biotecnología liderando el proceso.»

Daniel Pagliano, presidente de RedBIO
(Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal)^{www8}

El sector agroalimentario tiene una especial trascendencia en la economía mundial. La aplicación de la biotecnología moderna aporta a la agricultura grandes beneficios, aunque no sea una panacea para solucionar los problemas existentes en el Tercer Mundo. En la actualidad es posible producir mayor cantidad y más rápidamente, así como nuevas variedades de plantas capaces de tolerar condiciones adversas, resistir herbicidas y plagas, y mejorar sus propiedades alimentarias y sanitarias. Estos son los objetivos que plantea la biotecnología en el sector agroalimentario, «dirigirse para y por los alimentos», ofrecer mayor cantidad y seguridad alimentaria, y perfilarse a la par de una postura de preservación del medio ambiente (FAO).

La realidad de los alimentos transgénicos

¿Qué diferencia existe entre un alimento genéticamente modificado, también llamados alimentos transgénicos, y uno natural? Cualquier alimento, animal o vegetal, está formado por los llamados principios inmediatos básicos (glúcidos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos) y por células a un nivel macromolecular. Los ácidos nucleicos constituyen el material genético¹⁰ hereditario que contienen los genes. De hecho, el material genético de las plantas y también de los animales ha sido incluido en nuestra dieta desde que dejamos la leche materna. La tecnología de alimentos transgénicos permite efectuar la selección de un rasgo genético específico de un organismo e introducirlo en el código genético del organismo fuente del alimento, por medio de técnicas de ingeniería genética, en lugar de pasar diez o doce años desarro-

9. Proteína que administrada por vía intravenosa ocasiona la disolución de coágulos de arterias bloqueadas después de un ataque al corazón, lo que evita la muerte por trombosis y daños al músculo cardíaco.

10. El ADN tiene el aspecto de una larga escalera en espiral: los «escalones» de la escalera se componen de unidades químicas llamadas bases nitrogenadas. Los grupos (4) de bases forman los genes, que determinan los rasgos físicos heredados y buena parte del comportamiento. La secuenciación de toda esta información genética (el genoma) requiere identificar y determinar el orden de los miles de millones de bases que forman el ADN y los genes individuales.

[www7]: Programa nacional de Biotecnología. <http://sug.cesga.es/biologia.html>

[www8]: <http://www.e-campo.com>



lloando plantas a través de métodos de hibridación tradicional, mezclando millares de genes para mejorar un cultivo determinado. Esto ha hecho posible que se desarrollen cultivos para alimentación con rasgos ventajosos específicos u otros sin rasgos indeseables en tiempos muy cortos. A pesar de la diferencia de procedimiento, el objetivo de todos los investigadores es el mismo: conseguir que el producto sea más sano y natural. La diferencia está, pues, en que el alimento natural no tiene modificado el material genético que contiene, mientras que el alimento transgénico, sí. No obstante, la presencia en alimentos de genes nuevos o introducidos *per se* no es considerada como un riesgo para la seguridad de los alimentos, puesto que todo el ADN se compone de los mismos elementos.

Frente a las ventajas expuestas, se opone la reticencia de un determinado sector de la opinión pública en relación con los riesgos que plantean los alimentos transgénicos. La comercialización de los productos modificados genéticamente está provocando una gran preocupación debido a la incertidumbre existente acerca de sus efectos negativos para la salud humana y para el equilibrio de la naturaleza.

Aplicación de la biotecnología para la producción de plantas transgénicas de interés nutritivo, sanitario e industrial

Los alimentos transgénicos constituyen una de las herramientas para afrontar los problemas de hambre, subalimentación, enfermedades y problemas de salud que los expertos vaticinan que se producirán a lo largo de siglo XXI. Además, la población mundial se va incrementando enormemente, la esperanza de vida se está prolongando, por lo que se requieren también alimentos específicos para estas edades, a la vez que el crecimiento económico global demanda más productos y de mejor calidad (Moreno Barrio, 1999).

El objetivo de la biotecnología en este campo es el desarrollo de sistemas de cultivo *in vitro* y de métodos eficientes de transformación genética de plantas que contribuyan a la mejora genética de variedades de cultivo de interés alimentario con la intención de mejorar el perfil nutricional de los mismos, al desarrollo de plantas libres de enfermedades, a la rápida propagación de genotipos de interés y a la producción de sustancias de interés industrial y sanitario.^{www9} En esta línea se han efectuado estudios para obtener arroz con niveles más altos de hierro (lo que paliaría la deficiencia de hierro que afecta a 400 millones de mujeres en edad de maternidad y, a su vez, reduciría los niveles de nacimientos prematuros, mortalidad perinatal y retraso mental y de crecimiento), frutas y hortalizas que contengan más vitaminas C y E, alimentos enriquecidos en aminoácidos esenciales, alimentos con contenido modificado de ácidos grasos, etc. (Budziszewski *et al.*, 1996; Krinsky *et al.*, 1996; James, 1998).

Naciones Unidas estima que más de 100 millones de niños en todo el mundo, principalmente en los países en vías de desarro-

llo, tienen deficiencia de vitamina A, condición que puede llevar a muchos casos de ceguera infantil (Grain, 2000). Para dar solución a este problema de salud, investigadores en biotecnología desarrollaron el arroz dorado¹¹ (Ingo Potrykus, 2001). Teniendo en cuenta, además, que muchos de estos países tienen justamente al arroz como la base de su alimentación, este avance nutricional puede significar una mejora enorme en salud pública (Desmettre, 1993).

La ventaja potencial más significativa de la biotecnología de los alimentos para el mundo en desarrollo, incluso para el mundo desarrollado, se presenta en la forma de alimentos capaces de vacunar contra enfermedades específicas. El virus *norwalk* provoca una enfermedad poco conocida que afecta a niños y ancianos con gastroenteritis a veces mortales. Investigadores de la Universidad de Cornell desarrollaron recientemente una variedad de patata que inmuniza contra el virus *norwalk* (Tacket, 2000). También en esta línea, investigadores del Instituto de Biociencias y Tecnología de Tejas están investigando la producción de una variedad de plátano que puede producir una vacuna contra la hepatitis B (Kong *et al.*, 2001). Más de 400 millones de personas son portadoras del virus de la hepatitis B (VHB). Disponer de una nueva fórmula de inmunización conllevaría reducir las cifras de infectados, sobre todo en los países subdesarrollados. La posibilidad de encontrar vacunas orales a partir de plantas transgénicas contra enfermedades como la hepatitis B supondrá un paso decisivo –dado su bajo coste y su fácil administración– en la erradicación de esta enfermedad, principalmente en el Tercer Mundo, ya que la vacuna recombinante actual, además de ser costosa y de que se requieren tres dosis reparadas a lo largo del tiempo, necesita una especial conservación.

Aplicación de la biotecnología para la elaboración de alimentos a partir de organismos

Otro de los objetivos de la biotecnología de alimentos es la investigación acerca de los procesos de elaboración de productos alimenticios mediante la utilización de organismos vivos, como por ejemplo la fabricación de leche con el azúcar de la lactosa, transformada en sus unidades glucosa y galactosa, en vacas transgénicas, para favorecer su digestión en aquella población incapaz de llevar a cabo dicha transformación (intolerantes a la leche) o fabricar *in vivo* leche maternizada, suprimiendo mediante la técnica de *knockout* el gen de la b-lactoglobulina de la leche de vaca para imitar la leche humana, que no la tiene;^{www10} o bien mediante procesos biológicos o enzimáticos, así como la utilización de técnicas de ingeniería genética en microorganismos de interés en procesos de transformación agroalimentaria, para obtener cepas recombinantes de microorganismos con nuevas características de interés en la producción de alimentos. Se obtienen así microorganismos como levaduras industriales que poseen una mayor adaptación y eficacia en los procesos fermentativos o bacterias capa-

11. Es una variedad de arroz obtenida por modificación genética para contener betacaroteno, una provitamina que en el organismo se transforma en vitamina A.

[www9]: Programa Nacional de Biotecnología. <http://sug.cesga.es/biologia.html>

[www10]: Lacadena, J.R. Animales transgénicos. http://www.cnice.mecd.es/tematicas/genetica/1999_03/1999_03_00.html



ces de producir determinadas enzimas de utilidad en el procesamiento de alimentos.

Los progresos que se están realizando actualmente en ingeniería genética y biotecnología permiten augurar un desarrollo cada vez mayor del uso de enzimas en la industria alimentaria. Las enzimas son piezas esenciales en el funcionamiento de todos los organismos vivos, ya que actúan como catalizadores de las reacciones de síntesis y degradación que tienen lugar en ellos. El área de tecnología enzimática y biocatálisis incluye el extenso campo de las fermentaciones en procesamiento de alimentos, así como la mejora genética de microorganismos de aplicación en tecnología de alimentos y la producción de proteínas y enzimas de uso alimentario.

Aplicación de la biotecnología en el desarrollo de una agricultura más respetuosa con el medio ambiente. Estudios para mejorar la bioseguridad en los procesos que impliquen la liberación al medio ambiente de organismos modificados genéticamente

La agricultura de los países desarrollados se enfrenta al reto de satisfacer la creciente demanda social de emplear técnicas de producción sostenibles compatibles con el medio ambiente. La aplicación de la biotecnología en el medio ambiente puede comportar riesgos a largo plazo en la biodiversidad de las especies animales y vegetales. Entre los riesgos de la ingeniería genética sobre la agricultura, por ejemplo, está la reducción de la biodiversidad (componente fundamental de la agricultura biológica), en razón de que las especies transgénicas tendrían más ventajas competitivas y, por lo tanto, mayores posibilidades de volverse dominantes e invadir comunidades naturales de plantas.^{www11} lo que aceleraría la erosión genética (Fowler y Mooney, 1990) y conduciría a una mayor vulnerabilidad de los sistemas agrícolas, a los estreses bióticos y abióticos (Robinson, 1996). De este modo, la presión por la uniformidad no sólo destruiría la diversidad de los recursos genéticos, sino que también rompería la complejidad biológica que condiciona la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tradicionales (Altieri, 1994), lo que daría lugar, por ejemplo, al desarrollo de parientes silvestres más agresivos, con mayor resistencia a las enfermedades, hecho que provocaría tensiones ambientales, trastornaría el equilibrio del ecosistema, etc.^{www12}

Otro de los riesgos asociados a las plantas obtenidas por ingeniería genética es la transferencia no intencional de los "transgenes" a parientes silvestres de los cultivos y los efectos ecológicos impredecibles que ello implicaría (Rissler y Mellon, 1996).

También se cree que la utilización de plantas transgénicas tolerantes a herbicidas en la agricultura llevaría, por un lado, a un incremento del uso de herbicidas en mayores dosis y, por otro, a

un desarrollo más rápido de la resistencia de las «malezas» a esos herbicidas.^{www13}

En cuanto al desarrollo y uso de plantas transgénicas con resistencia a insectos y enfermedades, se prevén como posibles efectos perjudiciales cambios estructurales en ecosistemas naturales, la afectación de especies de fauna nativa y efectos nocivos sobre la salud humana, en razón de que «[...] las nuevas plantas invadirían los ecosistemas que las rodean y se convertirían ellas mismas en plagas. Las toxinas podrían ser también dañinas para insectos benéficos y aves. Si el cultivo está destinado al consumo humano o animal, también podría éste verse afectado por el consumo» (Greenpeace, 1994).

Aplicaciones de la biotecnología y ciencias de la vida en la industria

«The significant problems we face cannot be solved by the same level of thinking that created them.»

Albert Einstein

La biotecnología es una potente tecnología que permite una industrialización sostenible, sustituyendo las tecnologías contaminantes actuales por procesos actualmente en desarrollo con la reducción del consumo de materias primas, de energía y de contaminación de residuos no reciclables ni biodegradables.¹²

El desarrollo de nuevas herramientas científico-tecnológicas adquiere, en este punto, una especial relevancia, ya que de ello depende, en gran medida, la competitividad de los distintos sectores industriales en los que son aplicables los métodos biotecnológicos. Estudios realizados en los ámbitos químicos, plástico, alimentario, textil, del papel, la minería, la refinería y la energía muestran que la biotecnología no sólo reduce costes, sino que también reduce la huella dejada en el medio ambiente por los elevados niveles de producción.

Aplicación de la biotecnología para reducir el consumo de materias primas, la contaminación y los residuos no reciclables ni biodegradables

Los compuestos organoazufrados, nitrogenados y los metales representan los constituyentes del petróleo que contribuyen a la contaminación ambiental, la lluvia ácida, la corrosión de equipos y el envenenamiento de catalizadores. Diversas investigaciones biotecnológicas están dirigidas a reducir el contenido de estos compuestos en los combustibles fósiles resultantes del petróleo (Ohshiro and Izumi, 1999; Kilbane *et al.*, 2000). De hecho, ya existe un proceso patentado para

12. La industria es sostenible cuando produce bienes y servicios según las necesidades de los presentes sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades.

[www11]: Sermeño, J.M. Agr. M.Sc. <http://www.monografias.com/trabajos10/reflex/reflex.shtml>

[www12]: Declaración de la FAO sobre biotecnología. <http://www.fonendo.com/noticias/41/2001/09/3.shtml>

[www13]: Sermeño, J.M. Agr. M. Sc. <http://www.monografias.com/trabajos10/reflex/reflex.shtml>



eliminar los metales presentes en combustibles (vanadio y níquel) por medio de biocatálisis¹³ (Xu *et al.*, 1998).

En la industria petrolera, la valoración de los residuos de destilación y de crudo pesado representa un gran problema debido a la presencia de asfaltenos.¹⁴ Últimamente, laboratorios como el Oak Ridge National Laboratory y el Lawrence Berkeley National Laboratory se han interesado en el desarrollo de tecnologías biológicas como el *biocracking*¹⁵ para romper las estructuras asfálticas en compuestos de menor peso molecular, y así obtener un petróleo ligero fácilmente procesable y de mayor valor (Premuzic, 1999).

Por todos estos hechos, se está planteando la importancia del petróleo como fuente de petroquímicos, en lugar de fuente de energía (Monticello, 2000). Ejemplo de ello es la producción de agentes emulsificantes a partir de los productos de degradación de la biodesulfuración de combustibles fósiles (Lange, 1999); la producción mediante biocatalizadores (lipasas) de monómeros acrílicos, que son unidades estructurales muy versátiles (Athawale, 2000). De igual manera, se han identificado biocatalizadores (microorganismos y enzimas) que permiten reacciones de oxidación, hidroxilación,¹⁶ epoxidación,¹⁷ alquilación¹⁸ y polimerización¹⁹ (Vázquez-Duhalt, 1999).

A escala internacional existe una gran tendencia hacia la producción de combustibles más limpios. La búsqueda de nuevas fuentes de energía ha conducido a la producción de etanol, biodiesel y metano, a partir de fuentes renovables como son los desechos agrícolas. Además, se investiga la posibilidad de producir hidrógeno como combustible, utilizando algas verdes (Ghirardi, 2000).

Aplicación de la biotecnología en la extracción y recuperación de metales en procesos relacionados con la biometalúrgica

Los microorganismos pueden ser utilizados como agentes floculantes o como colectores en los procesos de flotación de minerales. Gracias a la capacidad de muchos microorganismos de poder adherirse a superficies sólidas debido a la interacción existente entre la carga de la pared celular y las condiciones hidrofóbicas, modifican la superficie del mineral y permiten su flotación y la consiguiente floculación.

Otra área de enorme interés es la extracción o lixiviación de minerales insolubles y su recuperación en solución mediante la acción de microorganismos. El proceso facilita la extracción económica de metales valiosos y de minerales en los que se encuentran en can-

tidades muy pobres y con un bajo coste de capital y energía comparado con la pirometalúrgica;²⁰ así mismo, es una técnica no contaminante. Países desarrollados usan actualmente estos procesos baratos no contaminantes de biominería mediante la intervención de bacterias como *Thiobacillus ferrooxidans* (Brierley, Briggs, 1997).

La biodegradación de compuestos tóxicos orgánicos representa otra área importante de aplicación de los procesos biológicos. Una amplia variedad de sustancias, tóxicas y no tóxicas, pueden ser descargadas al medio ambiente como consecuencia de las operaciones mineras. Muchos de estos compuestos son productos químicos complejos empleados en flotación y en procesos hidrometalúrgicos. Otros incluyen productos derivados del petróleo utilizados de formas diversas en las operaciones mineras. Especies de *Klebsiella* y *Pseudomonas* tienen capacidad en la degradación de reactivos de flotación. Así mismo, se reconoce la habilidad de ciertos microorganismos o de sus enzimas de degradar, bajo ciertas condiciones, cianuro empleado en la recuperación de oro y plata (Guerrero, 1998).

Procesos de producción de enzimas con una actividad enzimática de interés industrial, a partir de células microbianas

Las vías metabólicas de microorganismos pueden ser modificadas por ingeniería genética para obtener minirreactores de alto rendimiento para conseguir objetivos tecnológicos. Enzimas naturales procedentes de microorganismos, plantas y animales, pueden ser utilizadas para catalizar reacciones químicas con alta eficiencia y especificidad. Imitando la selección y evolución natural, la actuación de las enzimas naturales puede ser mejorada mediante mutaciones o ingeniería genética para seleccionar las que realizan reacciones químicas específicas y para optimizar su actividad bajo ciertas condiciones, como la temperatura elevada. Con los catalizadores disponibles o desarrollados, enzimas o células, libres o inmovilizadas, se pueden llevar a cabo procesos enzimáticos o fermentativos en reactores de diversas características, las que se determinarán para cada proceso específico. Así, se ha desarrollado, por ejemplo, una línea de procesos de extracción enzimática de principios activos vegetales para la transformación de materias primas. Tal es el caso de un proceso biológico para la extracción de aceite de coco, sin usar solventes ni extractores mecánicos.^{www14}

13. Biocatálisis: fenómeno por medio del cual se llevan a cabo las reacciones químicas en los seres vivos realizadas por catalizadores especiales, de origen orgánico.

14. Asfaltenos: fracción de hidrocarburos de alto peso molecular separados mediante tratamiento con solventes.

15. *Biocracking*: tecnologías biológicas para romper las estructuras asfálticas en compuestos de menor peso molecular.

16. Hidroxilación: reacción química en la que un grupo hidroxilo (OH) es añadido para formar una nueva sustancia (la vitamina C funciona en una reacción de hidroxilación, *hydroxylation reaction*, necesariamente para la formación del colágeno).

17. Epoxidación: reacción química en la que un grupo insaturado de tipo olefínico se convierte en agente oxidante en el grupo epóxido. Los productos de epoxidación son conocidos como componentes epóxidos.

18. Alquilación: produce un compuesto de alto octano mediante la reacción de isobutano con butenos en presencia de ácido fluorhídrico que actúa como catalizador.

19. Polimerización: síntesis de polímeros a partir de monómeros. La combinación química de moléculas similares para formar moléculas más grandes.

20. Procesos que utilizan energía térmica (calor) para el procesamiento de metales o sus menas.

[www14]: Lucas Carrillo, E.A. Biotecnología de alimentos. <http://www.monografias.com/trabajos12/bioalim/bioalim.shtml>



Aplicación de la biotecnología en el desarrollo de biomateriales con aplicaciones industriales, medioambientales y sanitarias

Mientras que muchos polímeros naturales tales como las proteínas, los polisacáridos, etc., son fácilmente biodegradados por los microorganismos, no sucede lo mismo con los polímeros sintéticos tradicionales, ya que los microorganismos carecen de enzimas capaces de romper las uniones de las cadenas macromoleculares de los plásticos más usados en envases (polietileno, polipropileno, PVC, poliamidas, tereftalato de polietileno, etc.). Para minimizar la contaminación ambiental, se están desarrollando varios polímeros biodegradables. En esta línea, actualmente se estudia la bioproducción de polihidroxibutirato (PHB) a partir de *Alcaligenes eutrophus*. El PHB podría sustituir al polietileno. El mismo polímero se ha expresado también en plantas de algodón a fin de elaborar fibras con nuevas propiedades textiles.

La producción de seda de araña a escala industrial es otro ejemplo de aplicación de la biotecnología en la obtención de materiales de interés industrial. La seda de araña es un material de propiedades asombrosas, perfeccionado por la selección natural a lo largo de cientos de millones de años. Una fibra de seda es mucho más resistente que un cable de acero de similar grosor, y muchísimo más elástica. Introducir el gen de la proteína de la araña en el genotipo de una cabra permite que se extraiga en grandes cantidades



Figura 4

por la leche, se procesa, se hila y, de esta forma, se obtiene seda de araña, que por sus características es la fibra ideal para un sinfín de aplicaciones (Bijal, 2002).

También se están desarrollando, con la ayuda de la biotecnología, materiales biodegradables para ser empleados en cirugía, en tejidos para implantaciones (epitelial, ósea), y en un futuro se espera poder utilizar órganos artificiales (Piskin, 1995; Desgrandchamps, 2000).

Aplicaciones de la biotecnología y ciencias de la vida en el medio ambiente

«Cuidar el medio ambiente es una cuestión de ética.»

Ian Gibson

La biotecnología puede ser utilizada para evaluar el estado de los ecosistemas, transformar contaminantes en sustancias no tóxicas, generar materiales biodegradables a partir de recursos renovables, limpiar la polución, las aguas residuales, el aire y gases de desecho, a fin de proteger y restaurar la calidad del medio ambiente.

Diseño de procesos en los que intervengan organismos o productos derivados de estos para la eliminación de sustancias tóxicas o contaminantes en aguas residuales urbanas, vertidos industriales y entornos naturales contaminados

Con los avances en biotecnología, la biorremediación²¹ del aire, el suelo y el agua ha sido uno de los campos de restauración medioambiental que más rápidamente se ha desarrollado, utilizando microorganismos para reducir la concentración y la contaminación de distintas sustancias como el petróleo, hidrocarburos policíclicos y aromáticos, solventes industriales, pesticidas y metales.

Las técnicas actuales de biología molecular aplicadas al estudio de comunidades microbianas presentes en los lodos activados están permitiendo avanzar en el conocimiento de los procesos de degradación y permitirán mejorar la monitorización y el control de procesos de tratamiento de aguas residuales (Lajoie *et al.*, 2002). La degradación biológica de mezclas complejas de sustancias recalcitrantes es todavía un desafío para la biotecnología ambiental actual. Estudios con biofilms en reactores muestran que estos ofrecen muchas ventajas y pueden ser utilizados para este propósito.

El diseño de nuevas enzimas dará lugar a derivados más estables y con propiedades mejoradas que permitirán, a su vez, optimizar el diseño de las biotransformaciones de interés industrial. Estas enzimas optimizadas tendrán importantes aplicaciones en diferentes áreas, como la química orgánica y la química farmacéutica.

21. Utilización de sistemas biológicos, tales como enzimas y bacterias, para producir rupturas o cambios moleculares de tóxicos, contaminantes y sustancias de importancia ambiental en suelos, aguas y aire, con lo que se generan compuestos de menor o ningún impacto ambiental.



Los estudios de utilización de plantas transgénicas en la recuperación de metales son una clave importante en la fitorremediación²² del futuro.

Desarrollo de metodologías biológicas para la detección de contaminantes en los entornos naturales

Un área de la biotecnología que se está desarrollando rápidamente es el campo de la producción de biosensores. En este nuevo campo de la bioelectrónica, se combinan mecanismos biológicos y electrónicos, a menudo en forma de chip electrónico. En un biosensor, una sustancia biológica (una enzima, un anticuerpo, una proteína, ADN, etc.) lleva a cabo una reacción biológica, y los productos de la reacción se utilizan para producir una señal eléctrica. De este modo, se pueden medir de manera selectiva determinadas sustancias en un medio (plomo, toxinas, presencia de bacterias en el agua, etc.). Los biosensores son capaces de detectar también fenoles, metano y monóxido de carbono, de modo que contribuyen al control medioambiental. Muchos tipos de herbicidas pueden detectarse en el agua fluvial empleando biosensores basados en las algas. En Estados Unidos también se estudia una bacteria emisora de luz para la detección de hidrocarburos aromáticos polihalogenados. Otras aplicaciones son las pruebas de inmunidad que utilizan anticuerpos marcados y enzimas para medir los niveles de contaminantes. Si está presente algún agente específico, el anticuerpo se adhiere a él y se pone de manifiesto mediante cambio de color, fluorescencia o radioactividad.

Aplicación de la biotecnología en el diseño de procesos para el aprovechamiento de residuos industriales y lodos de depuradoras

Es necesario realizar más investigación y estudios de mercado para promover el uso de residuos orgánicos como materia prima para la obtención de sustancias de alto valor añadido, mediante el desarrollo de tecnologías de procesamiento eficaces y rentables económicamente.

Los lodos residuales utilizados en el proceso de depuración biológica de aguas residuales se deben tratar para facilitar su manejo y evitar posibles problemas, desde el olor hasta los agentes patógenos. Estos tratamientos modifican las propiedades de los lodos y los hacen más adecuados para su reutilización o eliminación. Actualmente se desarrollan procesos tecnológicos para el tratamiento y el aprovechamiento de lodos: compostaje, digestión anaerobia, secado térmico, cogeneración dentro del secado térmico, valorización energética y aprovechamiento en cementeras. En algunos de estos procesos es básica la intervención de microorganismos para conseguir la transformación (Bontoux *et al.*, 1998). Existe una gran variedad de procesos aerobios y anaerobios de interés indus-

trial en los que se tratan diferentes residuos con diversas especies de microorganismos, tanto en cultivos puros como en poblaciones mixtas. Entre ellos destacan la digestión anaerobia para la producción de biogás y la fermentación alcohólica para obtener bioalcohol (Jiménez, Chica, Cabello, 1989).

Aplicaciones de la biotecnología y ciencias de la vida en la informática. La bioinformática

«Las nuevas tecnologías basadas en biochips, junto con la información del genoma humano, ayudarán a los médicos a analizar cambios genéticos en los tumores de los pacientes mucho más rápidamente que en la actualidad.»

Joe W. Gray²³

La bioinformática es una disciplina científica de muy reciente aparición que tiene por objetivo el desarrollo de herramientas computacionales para el análisis de la información biológica y genómica. Se encuentra en la intersección de las ciencias de la vida y las de la información, proporcionando las herramientas y recursos necesarios para favorecer la investigación biomédica, integrando la información genética con la información clínica, dando respuesta a la necesidad de gestionar elevados volúmenes de información genética y proporcionando sistemas deductivos que extraen conocimiento biomédico de utilidad a partir de las bases de datos de investigación y variaciones genéticas individuales (Martín-Sánchez *et al.*, 1999).

Aplicación de la bioinformática en la investigación biomédica

El PGH produce enormes cantidades de mapas complejos y datos de secuencias. Las herramientas informáticas son cruciales para almacenar e interpretar estos datos de un modo eficiente en los centros de investigación biológica. La bioinformática trata de desarrollar sistemas que sirvan para entender el flujo de información desde los genes hasta las estructuras moleculares, su función bioquímica, conducta biológica y, finalmente, su influencia en las enfermedades y la salud. La bioinformática, en este sentido, ofrece la capacidad de comparar y relacionar la información genética con una finalidad deductiva, de modo que es capaz de ofrecer respuestas que no parecen obvias viendo los resultados de los experimentos (Martín-Sánchez, 1998).

La bioinformática orientada hacia la resolución de problemas de salud

Por otro lado, las nuevas tecnologías para el tratamiento de la información genética basadas en biochips, sistemas LIMS, bases de datos genómicas, sistemas de minería de datos y técnicas de cuantifi-

22. Uso de plantas y de su microbiota asociada para reparar suelos o aguas subterráneas contaminadas.

23. Profesor de Medicina de Laboratorio y Oncología Radioterápica, Universidad de California, San Francisco, Facultad de Medicina (JAMA, 1996; 275: 581-582).



cación de la expresión génica permiten obtener datos genéticos a gran velocidad, bien de genomas individuales (polimorfismos, mutaciones), bien de enfoques celulares (expresión génica). Este nuevo paradigma está repercutiendo en la investigación biomédica, el diagnóstico clínico y la obtención de nuevos fármacos, y se prevé que en los próximos años posibilite el desarrollo de una nueva práctica médica basada en las particularidades genéticas de los pacientes (Martín-Sánchez *et al.*, 1999).

Las tecnologías basadas en biochips pueden hacer por la genética lo que los microprocesadores hicieron por la informática. La miniaturización alcanzada permitirá que el diagnóstico salga de los laboratorios centrales y llegue hasta la consulta del médico, del mismo modo que, en cuanto a los ordenadores, de estar sólo en los centros de cálculo, se ha pasado a la ubicuidad actual de los ordenadores personales (Gibbs, 96).

A medida que se extiendan las tecnologías de la información genética, se producirá una explosión de datos (biochips, obtención de genomas individuales, proteómica, datos de expresión génica). Se necesitan herramientas que asistan al investigador y al clínico en el acceso eficiente a las fuentes de datos, en su interpretación y a la hora de aplicarlas en el entorno sanitario (Thornton, 1998; Boguski, 1998).

Aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación en el desarrollo de la biotecnología y las ciencias de la vida

El reto de los sistemas sanitarios es la accesibilidad global de los datos médicos personales. Es por este motivo que existe una necesidad de informatizar la medicina. Entre muchos argumentos esgrimidos, dos de ellos son la reducción de los errores sanitarios y la mayor accesibilidad a la información, como por ejemplo mediante el *Diario Médico*.^{www15}

La implementación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) permitirá acelerar la consulta de datos y mejorar, en último término, la calidad asistencial, dado que se trabajará con criterios consensuados con expertos de otros países. Es aceptable pensar que el mismo grado de control que poseen los ciudadanos sobre su cuenta bancaria, o sobre el carrito de la compra en unos grandes almacenes en línea, lo tuviesen sobre sus datos médicos personales en Internet. El impacto de las TIC provocará la reestructuración del sistema sanitario, adaptando sus procesos a la Red con la llegada de la *sanidad electrónica*, y la utilización de Internet tanto en las relaciones con los pacientes como en la comunicación entre los agentes del sistema sanitario. En los hogares y en línea, cualquier ciudadano con, por ejemplo, problemas cardiovasculares realizará una consulta médica a su médico, recibirá asistencia médica y monitorizará sus constantes vitales en su casa por Internet, y enviará los electrocardiogramas efectuados en su propio domicilio al hospital al instante. También, por ejemplo, podrá realizarse el seguimiento por Internet de

embarazadas con alto riesgo de aborto o parto prematuro que deben permanecer en reposo y necesitan, al mismo tiempo, ecografías frecuentes. Las ecografías las realizará la embarazada en su propio domicilio guiada por el médico por videoconferencia, que recibirá la imagen del feto en la pantalla de su ordenador con una calidad alta, lo que permitirá, además, contrastar los resultados clínicos y científicos con otros hospitales. Este avance imparable de las TIC en esta área confluirá con el envejecimiento de la población. En pocos años aumentará la demanda de servicios sanitarios a la vez que los nuevos miembros de la tercera edad estarán mucho más familiarizados con las TIC que se habrán desarrollado para satisfacer las nuevas necesidades (Baquía.com, 2002).

La bioinformática en los chips

La rapidez en la consecución de nuevos medicamentos también depende de la velocidad y la capacidad (a escala de *software* y de *hardware*) de interpretación de las secuencias genéticas y de las relaciones de las proteínas al configurar su estructura tridimensional (terciaria o cuaternaria). Las nanopartículas magnéticas fabricadas a partir de proteínas responsables de almacenar hierro en nuestro organismo (apoferritina) constituirán en un futuro muy próximo los componentes esenciales de nuevas unidades de discos de densidades inimaginables hoy (hasta 5.000 Gb por centímetro cuadrado) (Knight, 2003). Así mismo, podemos aprender de la biología de los procesos de transferencia de carga que ocurren en distintas proteínas para crear chips cada vez más pequeños. Teniendo en cuenta que nuestro cerebro es un sistema basado en la electrónica molecular capaz de computar de forma bastante efectiva, quizás la investigación de los procesos cerebrales nos permita desarrollar ordenadores moleculares extremadamente eficientes (Juan José Saenz, 2002).

Conclusiones

«If the answer is technology, what is the question?»

M.D. Glick

Si la ciencia y la tecnología han sido elementos clave para el desarrollo de la humanidad a lo largo de la historia, es hoy cuando son consideradas por muchos como la próxima gran revolución de la economía del conocimiento que, después de las TIC, crearán nuevas oportunidades en nuestras sociedades y sus economías (COM, 2002, 27 final). El programa eEurope ha otorgado una dimensión estratégica a las TIC,^{www16} pero es posible que en el siglo XXI la biotecnología y las ciencias de la vida, gracias a su potencial social, económico y medioambiental, lleguen a ser económicamente más importantes formando, junto con las TIC, la base de la nueva economía basada en el saber hacer (*know how*).

[www15]: <http://www.diariomedico.com/>

[www16]: http://europa.eu.int/information_society/eeurope/index_en.htm



El conocimiento siempre ha ocupado un lugar central tanto en el crecimiento económico de los países como en el bienestar social. En los últimos años, además, y gracias a las TIC, éste adquiere un papel absolutamente preponderante y se democratiza. El sociólogo Manuel Castells define la sociedad del conocimiento como una sociedad «en la que la generación, el procesamiento y la transformación de la información se convierten en las fuentes fundamentales de la productividad y el poder, debido a las nuevas condiciones tecnológicas que surgen en este período histórico» (Castells, 1997: 47).

En la nueva sociedad del conocimiento, la explosión de saberes sobre los ecosistemas biológicos en las ciencias de la vida, gracias a la combinación con las nuevas tecnologías, generará una corriente continua de nuevas aplicaciones innovadoras –por ejemplo, las pruebas genéticas, la regeneración de órganos y tejidos humanos– y el nacimiento de nuevas disciplinas científicas –por ejemplo, la genómica y la bioinformática–, con profundas repercusiones en nuestras sociedades y nuestras economías. Se crearán nuevas oportunidades y nuevos desafíos para los países desarrollados y en vías de desarrollo, lo que modificará radicalmente la práctica de la medicina en el Tercer Mundo y, así mismo, constituirá un arma eficaz en la lucha contra el hambre y la desnutrición en una población mundial en constante aumento y con la superficie cultivable actual, con mínimas repercusiones sobre el medio ambiente. La sanidad se verá reestructurada con el nacimiento de la *medicina a la carta*, caracterizada por el tratamiento de las enfermedades por terapia génica. En consecuencia, se desarrollarán nuevos fármacos que actuarán a escala molecular y personalizada. Además, existirá la posibilidad de mejorar el uso no alimentario de los cultivos como fuentes de materias primas industriales y de nuevos materiales biodegradables, lo que contribuirá a la creación de energía alternativa con carburantes biológicos como el biodiesel y el bioetanol y procesos como la biodesulfatación.

El potencial de la biotecnología y de las ciencias de la vida conducirá a una nueva economía. Es hoy cuando la biotecnología y las ciencias de la vida deben gestionarse de forma estratégica, situándolas en el núcleo de la nueva economía. De este modo podremos convertir este saber hacer en procesos competitivos y sostenibles en la nueva sociedad del conocimiento. Las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) tienen una importancia clave para hacer frente a los nuevos desafíos.

Bibliografía

ALTIERI, M.A. (1994). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Nueva York: Haworth Press.

ATHAWALE, V.; MANJREKAR, N. (2000). «Enzymatic synthesis of the acrylic esters: a comparative study». *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* (nº 10, págs. 551-554).

BAQUÍA.COM (red.) (2002). «E-health: la salud según Internet». <<http://www.baquia.com/com/20020219/not00010.html>>

BIJAL, P. (2002, 17 de enero). «Lab Spins Artificial Spider Silk, Paving the Way to New Materials». *Trivedi National Geographic*.

BOGUSKI, M.S. (1998). «Bioinformatics: a new era». *Trends Guide to Bioinformatics* (nº 1, págs. 1-3).

BONTOUX, L.; VEGA, M.; PAPAMELETIOU, D. (1998, abril). «Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos». *The IPTS Report*. Instituto de Prospectiva Tecnológica. Nº 23.

<http://login.vlex.com/login_bd.aspx?ref=%2Fes%2Fppv%2Fdoctrina%2Fresultados%2Easp%3Forden%3D0%26querydoc%3D118333%26IPTS%2600%2Ehtml%3D%26>

BRIERLEY, C.L.; BRIGGS, A.P. (1997, marzo). «Minerals Biooxidation/Bioleaching: Guide to Developing an Economically Viable Process». En: *PDAC Annual Meeting* (Toronto, Canadá).

BUDZISZEWSKI, G.J.; CROFT, K.P.C.; HILDEBRAND, D.F. (1996). «Uses of biotechnology in modifying plant lipids». *Lipids* 31 (págs. 557-569).

CASTELLS, M. (1998). *La era de la información. Volumen I*. Madrid: Alianza Editorial.

CHO, R.J. [et al.] (1998). «Parallel analysis of genetic selections using whole genome oligonucleotide arrays». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (vol. 95, nº 7, págs. 3752-3757).

DASILVA, E. (1998). *World Journal of Microbiology & Biotechnology* (vol. 14).

DESGRANDCHAMPS, F. (2000, mayo). «Biomaterials in functional reconstruction». *Current opinion in urology [Curr Opin Urol]* (vol. 10, nº 3, págs. 201-206).

DESMETTRE, P. (1993, junio). «Biotechnologie et santé animale». *Revue scientifique et technique [Rev Sci Tech]* (vol. 12, nº 2, págs. 355-368).

DONEHOWER, L.A.; HARVY, M.; SLAGLE, B. [et al.] (1992). «p53 deficient mice are developmentally normal but are susceptible to spontaneous tumors». *Nature* (nº 356, págs. 215-221).

FOWLER, C.; MOONEY, P. (1990). *Shattering: food, politics and the loss of genetic diversity*. Tucson: University of Arizona Press.

GENETIC RESOURCES ACTINO INTERNATIONAL (GRAIN) (2000, marzo). «Biotecnología: El caso de la vitamina A. ¿Ingeniería genética para combatir la desnutrición?». *Biodiversidad* [artículo en línea] (nº 23). <<http://www.grain.org/biodiversidad/?id=94>>

GHIRARDI, M.L.; ZHANG, L.; LEE, J.W. [et al.] (2000). «Microalgae: a green source of renewable H₂». *Tibtech* (nº 18, págs. 506-511).

GIBBS, W.W. (1996). «New chip off the old block. Can DNA microprobes do for genetics what microprocessors did for computing?». [news]. *Scientific American* (vol. 275, nº 3, págs. 42-44).

GITTON, Y. [et al.] (2002). «A gene expression map of human chromosome 21 orthologues in the mouse». *Nature* (nº 420, págs. 586-590). Doi:10.1038/nature01270.

GUERRERO, J.J. (1998, agosto). «Biotecnología para el procesamiento de minerales». En: *Segundo Congreso Nacional de Minería* (Trujillo, Perú).

HACIA, J.G. [et al.] (1996). «Detection of heterozygous mutations in BRCA1 using high density oligonucleotide arrays and two-colour fluorescence analysis». *Nature Genetics* (vol. 14, nº 4, págs. 441-447).

HOUEBINE, L.M.; CURR OPIN BIOTECHNOL (2002). Dec. *Antibody manufacture in transgenic animals and comparisons with other systems* (vol. 13, nº 6, págs. 625-629). PMID: 12482525.

INGO POTRYKUS (2001, marzo). «Golden Rice and beyond». *Plant Physiology* [artículo en línea] (vol. 125, págs. 1157-1161). <http://www.biotech-info.net/GR_and_beyond.html>

JAMES, C. (1998). «Global review of commercialized transgenic crops: 1998». *ISAAA*.

JIMÉNEZ, L.; CHICA, A.; CABELLO DE LOS COBOS, R. (1989). «Procesos de conversión de biomasa residual en energía II. Procesos



de obtención de bioalcohol en energía». *Energía* (vol. 15, nº 2, págs. 99-108).

KILBANE II, J.J.; RANGANATHAN, R.; CLEVELAND, L. [et al.] (2000). «Selective removal of nitrogen from quinoline and petroleum by *Pseudomonas* ayucida IGTN9m». *Appl. Environ. Microbiol* (nº 66, págs. 688-693).

KIM, J.H. (2002, noviembre-diciembre). «Bioinformatics and genomic medicine». *Genet Med* (vol. 4, supl. 6, págs. 62S-5S). PMID: 12544491.

KNIGHT, W. (2003, 27 de abril). *Proteins produce nano-magnetic computer memory*. New Scientist Online News.

KONG, Q.; RICHTER, L.; FANG YANG, Y. [et al.] (2001). «Oral immunization with hepatitis B surface antigen expressed in transgenic plants». *PNAS* (nº 98, págs. 11539-11544) [published online before print as 10.1073/pnas.191617598].

KRIMSKY, S.; WRUBEL, R.P. (1996). *Agricultural biotechnology and the environment*. Urbana, EE.UU.: University of Illinois Press (pág. 294).

KUWABARA, P.E. [et al.] (2001). «The use of functional genomics in *C. elegans* for studying human development and disease» [eng; includes abstract]. *J Inherit Metab Dis* (vol. 24, nº 2, págs. 127-138). PMID: 11405335.

LACADENA, J.R. (1999). *Animales transgénicos* [en línea].

<http://www.cnice.mecd.es/tematicas/genetica/1999_03/1999_03_00.html>

LAJOIE, C.A. (2002, septiembre-octubre). *Water Environ Res* (vol. 74, nº 5, págs. 480-487).

LANGE, E.; LIN, Q.; NIELSEN, K. [et al.] (1999). «Surfactants derived from 2-(2-hydroxyphenyl) benzene sulfinate and alkyl-substituted derivatives». *US Patent* 5973195.

MARTÍN-SÁNCHEZ, F.; LÓPEZ-CAMPOS, G. (1998). «Tecnologías basadas en biochips. Aplicaciones en diagnóstico clínico e investigación biomédica». En: *II Simposio Internacional sobre Diagnóstico Genético en Medicina* (Madrid).

MARTÍN-SÁNCHEZ, F.; LÓPEZ-CAMPOS, G.; MAOJO GARCÍA, V. (1999). «Impactos de la aplicación de las nuevas tecnologías para el tratamiento de la información genética en la investigación biomédica y la práctica clínica». *Informática y Salud* [artículo en línea].

<http://www.seis.es/i_s/i_s19/i_s19l.htm>

MONTICELLO, D.J. (2000). «Biodesulfurization and the upgrading of petroleum distillates». *Curr. Op. Biotechnol* (nº 11, págs. 540-546).

MORENO BARRIO, S. (1999). «El futuro de los alimentos transgénicos será la salud». *Diario Médico.com* [artículo en línea].

<<http://diariomedicovd.recoletos.es/saludpublica/n171199.html>>

OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT (1992). *A new technological era for American agriculture*. U.S. Washington D.C.: Government Printing Office.

OHSHIRO, T.; IZUMI, Y. (1999). «Microbial desulfurization of organic sulfur compounds in Petroleum». *Biosci. Biotechnol. Biochem* (nº 63, págs. 1-9).

PISKIN, E. (1995). «Biodegradable polymers as biomaterials. *Journal of biomaterials science. Polymer edition*». *J Biomater Sci Polym Ed* (vol. 6, nº 9, págs. 775-795).

PREMUZIC, E.T.; LIN, M.S. (1999). «Biochemical upgrading of oils». *US Patent* 5858766.

RISSLER, J.; MELLON, M. (1996). *The ecological risks of engineered crops*. Cambridge, MA: MIT Press.

ROBINSON, R.A. (1996). «Return to resistance: breeding crops to reduce pesticide resistance». AgAccess, Davis, CA.

SAENZ, J. J. (2002). «¿Ordenadores moleculares?». *El País. Babelia*. [artículo en línea].

<http://www.biada.org/pdf/salut_ciencia_tecno/ordenadores_moleculares.pdf>

SERMEÑO, J.M. *Reflexiones y recomendaciones sobre el uso de organismos manipulados genéticamente*. Monografias.com.

<<http://www.monografias.com/trabajos10/reflex/reflex.shtml>>

TACKET, C.O. (2000, julio). «Human immune responses to a novel norwalk virus vaccine delivered in transgenic potatoes». *J Infect Dis* [eng; includes abstract] (vol. 182, nº 1, págs. 302-5). PMID: 10882612.

THORNTON, J.M. (1998). «The future of Bioinformatics». *Trends guide to bioinformatics* (nº 1, págs. 30-31).

VÁZQUEZ-DUHALT, R. (1999). «Cytochrome c as a biocatalyst». *J. Mol. Cat. B: Enzymatic* (nº 7, págs. 241-249).

WATERSTON, R.; LINDBLAD-TOB, K.; BIRNEY, E. [et al.] (2002, 5 de diciembre). «Initial sequencing and comparative analysis of the mouse genome». *Nature* (vol. 420, nº 6915, págs. 520-562).

XU, G.W.; MITCHELL, K.W.; MONTICELLO, D.J. (1998). «Fuel product produced by demetalizing a fossil fuel with an enzyme». *US Patent* 5624844.

Enlaces relacionados

Biotecnología y Seguridad Alimentaria

<http://www.fao.org/worldfoodsummit/spanish/fsheets/biotech.pdf>

Biotecnología: objetivos del proyecto y era posgenómica

http://biotec.amgen.es/cgi-bin/wdbcgi.exe/amgen/pak_biotech.muestradoc?p_item=18

Centro Nacional de Biotecnología

<http://www.cnb.uam.es/>

Declaración de la FAO sobre biotecnología

<http://www.fao.org/biotech/stat.asp> [28/09/2001]

eEurope

http://europa.eu.int/information_society/eeurope/index_en.htm

«E-Health: la salud según Internet»

<http://www.baquia.com/>

OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)

<http://www.oecd.org/home/>

OCDE (2001). The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability

www.oecd.org/sti/biotechnology

Programa Nacional de Biotecnología

<http://sug.cesga.es/biologia.html>

Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal (RedBIO)

<http://www.redbio.org/>



↔ Para citar este documento puedes utilizar la siguiente referencia:

SAIGÍ, Francesc; López, Asunción (2004). «Las ciencias de la vida y la biotecnología en la nueva sociedad del conocimiento. La base de la nueva economía» [artículo en línea]. UOC. [Fecha de consulta: dd/mm/aa].
<<http://www.uoc.edu/dt/esp/saigi1104.pdf>>



Francesc Saigí

Profesor de los Estudios de Ciencias de la Información y de la Comunicación de la UOC

fsaigi@uoc.edu

Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de Barcelona (UB). Profesor responsable del Área de Visualización y Representación de la Información de los Estudios de Ciencias de la Información y de la Comunicación de la UOC. Así mismo, es investigador del Internet Interdisciplinary Institute de la UOC (IN3-UOC). Ha publicado diversos trabajos en revistas de ámbito científico nacional e internacional. Su área de trabajo actual se centra en la información biomédica en los nuevos servicios de telemedicina: requisitos de los usuarios, optimación de los recursos y evaluación de los servicios.



Asunción López Sevilla

Consultora de Multimedia y comunicación en los Estudios de Ciencias de la Información y de la Comunicación de la UOC

alopezsev@uoc.edu

Consultora de Multimedia y comunicación en los Estudios de Ciencias de la Información y de la Comunicación de la UOC. Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad de Barcelona (UB). Los estudios de investigación efectuados durante los años de tesina y doctorado se enmarcan en el campo de la biorremediación; el título de su tesis doctoral fue *Captación de níquel por pseudomonas fluorescens 4F39*. Así mismo, ejerció de profesora asociada de la Universidad de Farmacia (UB) durante el período de 1998 a 2001. También fue responsable técnico de la empresa SHIMSA (Serveis d'Higiene Hospitalària), donde realizó asesoría y formación en el ámbito de la higiene hospitalaria, en el período 2000-2002. En la actualidad, es responsable técnico del laboratorio ACONSA (Asesoría y Consultoría Sanitaria, S.L.), dedicado a análisis microbiológicos de muestras de origen ambiental y alimentario.