

Nuevos paradigmas relacionados con la ciencia biológica experimental

Implicaciones científicas, tecnológicas y sociales

XAVIER SOBERÓN

La ciencia biológica en el siglo XX.

De la genética molecular a la nueva biotecnología

Hoy en día encontramos en las conversaciones de muchas personas, y no solamente de las más instruidas, palabras relacionadas con la ciencia y la tecnología biológicas. Ingeniería genética, organismo transgénico, proteína recombinante, genoma humano, xenotransplante y terapia génica, por ejemplo, son expresiones que aparecen en periódicos, reportajes y películas de actualidad. De manera similar a la popularización de términos vinculados con la tecnología electrónica y la comunicación (por ejemplo: transistor, UCP, internet, etc.), la gente usa estos vocablos sin conocer con precisión sus significados. Pero resulta claro que ella se interesa por las implicaciones (reales o ficticias) que pueden tener en su vida los avances del conocimiento y las tecnologías, aun cuando no los comprendan cabalmente. La gran influencia social que hoy observamos en el caso particular de la biotecnología deriva de avances recientes cuya dinámica vale la pena analizar.

Durante el siglo XX, tuvo lugar un proceso de expansión y profesionalización del aparato científico, debido al cual ha disminuido el tiempo que media entre la creación de nuevos conocimientos y la aparición de tecnología basada en ellos, lo cual, a su vez, influye en casi todas las áreas de la vida moderna, en particular en los sectores económicamente favorecidos. Este fenómeno de generación rápida de aplicaciones tecnológicas también se registra en la ciencia biológica de la última mitad del siglo.

A partir del descubrimiento de la estructura del material genético (ácido desoxirribonucleico o DNA) en 1953, em-

pezaron a establecerse las bases científicas necesarias para el uso cada vez más intenso y racional de los seres vivos. A mediados de los años setentas se realizaron otros descubrimientos cruciales que dieron origen a las técnicas de DNA recombinante o ingeniería genética. A partir de ese decenio, es posible introducir material genético de unos organismos en otros, salvando una barrera que rara vez se cruza en el medio natural y que hasta entonces el hombre no había podido trasponer. En virtud del avance de estas metodologías, en el último cuarto del siglo XX, las ciencias biológicas experimentales prácticamente se han revolucionado. De modo paralelo, nace lo que se ha conocido como biotecnología moderna, es decir la biotecnología basada en los descubrimientos más recientes, con enfoques de nivel molecular y con una descripción mucho más precisa de los componentes propios de cada caso.

Etapas de la nueva biotecnología y dinámica de su percepción social

En los años ochentas, empezamos a ver aplicaciones biotecnológicas derivadas de la ingeniería genética, en el campo de la salud. Los productos notables de esta era son las proteínas humanas producidas en bacterias, tales como la insulina, la hormona de crecimiento y los factores de coagulación, por ejemplo. En la actualidad, hay decenas de productos del mismo tipo, y otros cientos más se hallan en proceso de desarrollo (más hormonas y anticoagulantes, factores de crecimiento celular, potenciadores de la respuesta inmune, vacunas, etc.). Todas las grandes compañías farmacéuticas,

incluidos los gigantescos consorcios que resultaron de las fusiones de los últimos años, tienen equipos de investigación y desarrollo dedicados a este tipo de aplicaciones.

El proceso de incorporación de los nuevos productos biotecnológicos al repertorio de medicamentos de patente también ilustra una dinámica nueva que vale la pena tomar en cuenta. Los descubrimientos científicos fundamentales ocurrieron en las universidades (aun cuando todas las compañías farmacéuticas tenían sus propios departamentos de investigación y desarrollo) y, aunque paulatinamente las empresas impusieron el nuevo enfoque de la ingeniería genética en sus departamentos, la mayoría de los productos iniciales fueron generados por empresas pequeñas surgidas de los cuadros académicos. La compañía Genentech, radicada en San Francisco, California, es el ejemplo más conocido de este nuevo esquema.

Resulta interesante observar que la naturaleza de las aplicaciones, tal vez a causa de su novedad, no provocó en esta etapa una reacción pública negativa. Los propios científicos declararon una moratoria en la experimentación con DNA recombinante y alentaron la formulación de reglas de seguridad para los laboratorios. Estas normas fueron haciéndose menos estrictas conforme la experiencia así lo indicaba. Es cierto que desde entonces había individuos y organizaciones opuestas a las aplicaciones de la tecnología biológica, pero la resonancia social de sus objeciones era bastante limitada.

Hacia los años noventas, empiezan a cobrar gran relevancia las aplicaciones biotecnológicas en el ámbito agrícola. La dinámica de su aparición es bastante similar a la de las aplicaciones médicas, en la medida en que las tecnologías básicas también surgen de los ambientes académicos, y son tomadas después por las empresas. El periodo de asimilación es, sin embargo, más corto, en razón de una actitud mucho más alerta de las empresas. En este terreno empiezan a surgir variedades de plantas que incorporan genes provenientes de otras especies, es decir "plantas transgénicas", ideadas para lograr mejores niveles de valor nutricional y organoléptico (sabor, aroma, textura, color), así como de productividad. En este periodo surge una enérgica reacción social contra tales aplicaciones, en particular en el continente europeo.

Es interesante observar que las aplicaciones médicas mencionadas provienen también de organismos "transgénicos" (bacterias modificadas por ingeniería genética que contienen, por ejemplo, genes humanos). Sin embargo, la reacción adversa se dirige principalmente a los nuevos productos alimenticios mejorados mediante la moderna tecnología.

En una tercera etapa, que ahora se consolida, se registran nuevas aplicaciones de la tecnología biológica en el sector de la industria química. Específicamente, se adaptan procesos biológicos para obtener productos químicos en general. En esta nueva fase se espera que la biotecnología disminuya las alteraciones ambientales provocadas por los procesos de manufactura y que genere productos y materiales con características mejoradas de pureza y biodegradabilidad.

De manera simultánea a las aplicaciones surgidas directamente del DNA recombinante, la explosión de conocimiento en las ciencias biológicas ha hecho posible el desarrollo de otras capacidades que también suscitan expectativas e inquietudes en la sociedad. Un caso notable de ello es la obtención de organismos completos a partir de componentes celulares de adultos, conocida como clonación. Nuevamente, el proceso que genera organismos idénticos entre sí (que es lo que estrictamente significa el término clonación) no acarrea controversias cuando se trata de bacterias y otros organismos unicelulares (hongos, por ejemplo). Asimismo, la propagación vegetativa de plantas ha sido un proceso bien conocido desde hace mucho tiempo y, desde el punto de vista biológico, constituye un proceso de clonación. Sin embargo, el anuncio de la clonación de un animal a partir de un adulto —la oveja Dolly—, lograda recientemente en Escocia, desató una polémica internacional de grandes proporciones. Sin duda, una posible implicación de ese resultado es la clonación de seres humanos. ¿Y quién no escuchó el anuncio de que se ha obtenido un primer borrador del genoma humano (el total de las instrucciones genéticas que definen la naturaleza biológica de nuestra especie), que se presenta como prueba incontestable de la importancia y la influencia generalizada de la tecnología biológica al inicio del siglo XXI? Los comentarios al respecto, difundidos por todos los medios, desde declaraciones de jefes de Estado hasta reportajes televisivos y artículos en publicaciones de todo tipo, han consolidado la nueva biotecnología como un tema de discusión en todos los ámbitos de la sociedad.

Ficción versus realidad. Debate y bioética

La imaginación y las inquietudes de la sociedad han llevado la discusión sobre la biotecnología a niveles de controversia con alcances globales. Resulta indispensable analizar y debatir el tema y existe una fuerte presión

por legislar pronto al respecto. Un problema que surge es que, al calor de las discusiones, es fácil perder de vista la diferencia entre las aplicaciones reales y las que o bien son ficticias o podrían llevarse a cabo solamente en el largo plazo, pues los diferentes grupos de interés expresan y propagan conceptos frecuentemente distorsionados, o incluso falsos, con tal de respaldar sus posiciones. Por una parte, las empresas del sector tienden a exagerar los alcances y el sentido social de las nuevas biotecnologías. Se han creado así, por ejemplo, equívocas expectativas respecto a la inminente curación de ciertas enfermedades, a la solución del problema del hambre y a la capacidad de limpiar desastres ambientales o rescatar especies en peligro de extinción. Se ha llegado al grado de anunciar públicamente resultados experimentales en conferencias de prensa, sin esperar a la publicación científica arbitrada, con el objeto de aumentar las expectativas y, consecuentemente, el valor de las acciones de una empresa. Así, se dio a conocer el control de una actividad biológica (telomerasa) que supuestamente permitiría aumentar la longevidad y el descubrimiento de un gen relacionado con la obesidad. En ambos casos, los resultados son totalmente decepcionantes, sobre todo en relación con las enormes esperanzas generadas. En el otro lado del espectro, hay diversos grupos impugnadores de la biotecnología al parecer animados (tal vez más sus adherentes que sus dirigentes) por preocupaciones genuinas respecto al empleo de tecnologías poderosas cuando aún no hay suficiente información acerca de los riesgos que implican. Desafortunadamente, las opiniones de estos grupos son influidas también por intereses económicos muy importantes, y es obvio que algunas reciben cuantioso financiamiento. Encontramos entonces la repetición pertinaz de verdades a medias, cuando no de francas mentiras, acerca de los riesgos relacionados con la biotecnología. Es notable que se empleen términos como "Frankenfood" y que se critique a la Secretaría de Agricultura por autorizar la introducción de granos transgénicos "venenosos". Los posibles daños a la salud de productos agrícolas con componentes transgénicos (también llamados organismos genéticamente modificados u ogms) son ante todo hipotéticos y, en todo caso, de poca importancia (la cuestionable calidad científica y los datos amañados del experimento que desató la campaña en tal sentido están plenamente documentados). Asimismo, se dramatizan los daños potenciales a los ecosistemas: por ejemplo, los efectos sobre especies cercanas al corazón del público, como la mariposa monarca.

Parece haber una fuerte tendencia a adoptar lo que se ha dado en llamar el "principio precautorio", de acuerdo con el cual se asume que hay probabilidades de riesgo al diseminar toda nueva tecnología, se detiene su aplicación, se pasa la "carga de la prueba" sobre su inocuidad a sus promotores y se asigna *a priori* el beneficio de la duda a los que señalan los peligros. Es evidente que la adopción de tecnología (y sus riesgos inherentes) es práctica común en las sociedades desde milenios atrás, y entonces cabe preguntar por qué razón la biotecnología ha sido blanco de críticas si hay innumerables actividades humanas más nocivas o peligrosas que ella. Indudablemente, desempeña un papel el hecho de que las aplicaciones son muy cercanas a nuestros procesos más íntimos de subsistencia (alimentación y salud). También es cierto que los intereses económicos, de corto y largo plazos, relacionados con las biotecnologías son gigantescos. En muchas predicciones sobre megatendencias, se destaca la biotecnología como la dominante en las primeras décadas del siglo XXI, incluso por encima de las preponderantes tecnologías de la información. Por otra parte, resulta verdaderamente paradójico que, desde la perspectiva de la mayoría de los especialistas, la tecnología biológica es la mejor solución para avanzar hacia un desarrollo sostenible y respetuoso del ambiente, pero varios sectores de la sociedad no tienen confianza en tales apreciaciones. Se corre entonces el riesgo de un exceso de precaución y de pagar por consiguiente el costo de no aplicar tecnologías de gran alcance en el bienestar del hombre y de su entorno. Desde luego, una "mentalidad de riesgo cero" nos hubiera mantenido comiendo alimentos crudos (por los peligros del fuego) y ni las vacunas ni los aviones se emplearían.

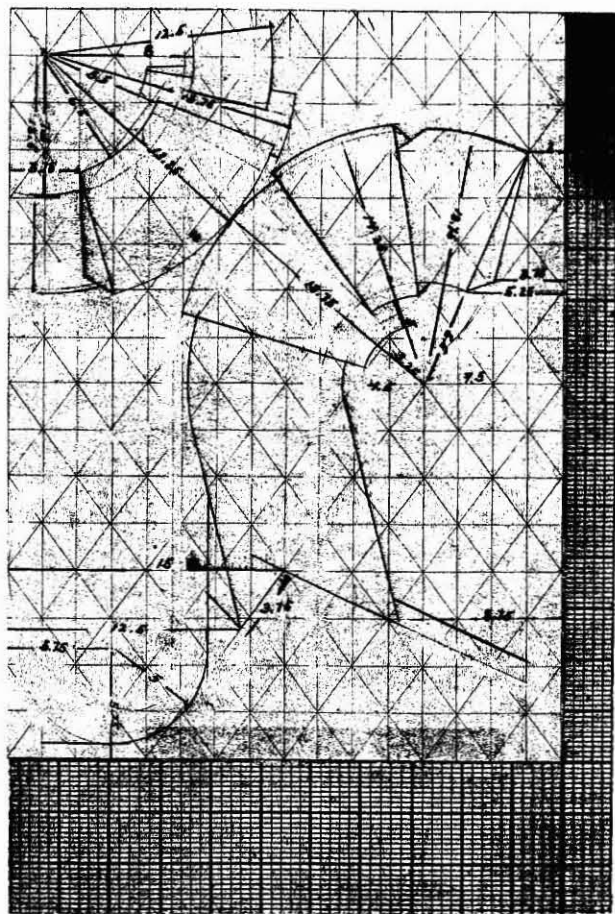
Pero la confrontación, frecuentemente estéril, entre proponentes y detractores del desarrollo de la biotecnología hunde sus raíces en un proceso más general relacionado con la crisis de credibilidad propia de nuestras sociedades actuales. Se ha argumentado que la ciencia está en un proceso de renegociación de su contrato social. Hasta hace pocos años, el financiamiento público de la investigación científica tenía lugar sin que se dudara de su pertinencia, pues se confiaba en las bondades de un sistema basado en la curiosidad y originalidad de los investigadores. Más aún, las opiniones de los científicos gozaban de una gran credibilidad y resultaban el referente definitivo en las áreas de su competencia. Ahora, la desconfianza ha alcanzado también a la ciencia. "Por cada experto, hay otro igual en sentido contrario." Cada vez resulta más necesario esgrimir argumentos

relativos a la utilidad o posibilidad de aplicación cercana de las investigaciones para justificar el financiamiento de éstas. La elevación de los costos inherentes a la investigación científica contemporánea es parcialmente responsable de este fenómeno, porque obliga a priorizar proyectos, lo cual resulta difícil a partir exclusivamente de su mérito científico. Asimismo, se exige a los estudiosos la demostración de que los elementos éticos de sus estudios están debidamente sometidos al escrutinio de comités de representantes de grupos sociales que incluyen a no científicos. Otra variable moderna que influye indudablemente en la percepción social del quehacer científico es el incremento notable de la investigación básica realizada por empresas, la cual compite hoy más que nunca con la realizada en universidades y otros organismos públicos, y la complementa. Un ejemplo elocuente de esta nueva realidad es la forma en que se anunció el borrador del genoma humano, que requirió una negociación entre las dos entidades que contribuyen a tan gigantesca empresa. Una de ellas, la Organización para el Genoma Humano (Hugo), aglutina universidades e institutos públicos de todo el mundo. La otra, la empresa Celera Genomics, conocida por su ambiciosa estrategia, realizó una inyección enor-

me de capital de riesgo para establecer su propio programa con el afán de completar la secuencia de letras genéticas que constituyen nuestro genoma. Es fácil compartir la ansiedad surgida en el público al pensar que una empresa sea "dueña" de la información sobre nuestro propio genoma, inquietud que se intensifica ante las especulaciones sobre el significado de las patentes que, sobre esta información, lleguen a aprobarse. Aunque en buena medida tal especulación carece de fundamento, es claro que en temas tan delicados se manifiesta una natural resistencia a que intereses privados y comerciales establezcan las directrices respecto a la investigación. La otra cara de la moneda es que la participación de la empresa tuvo un efecto definitivo al acelerar los trabajos de la Hugo, con el resultado de un primer borrador obtenido varios años antes de lo planeado.

Como se ha señalado, las expectativas sobre la posibilidad de modificar el patrimonio genético de nuestra especie y de franquear barreras que rara vez se cruzan en la naturaleza (por ejemplo entre plantas y animales) generan por sí mismas una sensación de temor y ansiedad muy comprensibles. Es un hecho que la velocidad con que se han realizado descubrimientos y surgen posibilidades casi impide a la gente mantenerse enterada y en posibilidad de evaluar y ponderar las implicaciones de los hallazgos. Por si esto fuera poco, la moderna sociedad globalizada, la presencia internacional de las Organizaciones No Gubernamentales y la inmediata difusión de todo género de información en internet contribuyen a acentuar, y a veces exacerbar, el sentido crítico de los individuos ante fenómenos novedosos. Es indudable que la capacidad de decisión de la sociedad en estos temas enfrenta retos formidables y creo que vale la pena intentar orientar la discusión a los temas concretos que más nos apremian ahora mismo (por ejemplo, asuntos como el carácter privado de la información genética individual) y no polarizar en exceso la discusión de temas más especulativos, aunque más llamativos.

En el caso particular de la biotecnología, la discusión globalizada entraña un riesgo especial. Dada la naturaleza regional (climática y cultural) de muchas de sus aplicaciones, cada país tendrá, inevitablemente, que desarrollar algunas de ellas de manera autónoma (es poco probable que organismos o empresas extranjeras creen tecnología para el nopal o el frijol negro, por ejemplo). Adicionalmente, la cultura de minimización de riesgos corresponde más a países cuyas necesidades básicas ya están satisfechas, por lo que la adopción de este tipo de actitudes parece tener un cierto carácter colonialista; en los países del sur, la relación



costo-beneficio responde a variables muy distintas de las del norte.

¿Qué nos depara el futuro?

Los temas que hemos abordado hasta aquí se relacionan con los aspectos tecnológicos y comerciales de la ciencia biológica contemporánea, pero, más allá de lo económico y de la capacidad de asimilación y análisis de la sociedad en cuanto a las aplicaciones de la biotecnología, hay un proceso subyacente que también tendrá un profundo efecto en nuestras culturas: el aumento exponencial del poder de indagación de la ciencia biológica promete contribuir con nuevos conceptos en áreas previamente reservadas a los terrenos filosóficos. Resulta notable que seamos parte de la primera generación capaz de tener acceso a un conocimiento relativamente sólido de la dimensión biológica de la naturaleza humana. Me refiero a descubrimientos como el realizado hace pocos años, de manera casual, cuando se analizaban los efectos de inactivar ciertos genes vinculados con la función de células nerviosas de ratón. Como suele ocurrir, al eliminar un gen en particular (denominado fosB, un gen de control), la fisiología y el comportamiento general de los ratones así alterados no mostraban cambios evidentes, pero resultó muy difícil que esos animales tuvieran descendientes. La observación cuidadosa de estos animales de laboratorio demostró que las hembras alteradas se comportaban de modo normal en el apareamiento y el alumbramiento, pero habían perdido el "instinto materno" que las inducía a cuidar y amamantar a sus cachorros. En efecto, el análisis fisiológico comprobó que el gen alterado entraba en acción, en animales normales, sólo inmediatamente después del parto. Cuando se preguntó al jefe del laboratorio que realizó esta investigación si ocurriría lo mismo en los humanos, contestó que no sabía, pero que indudablemente nuestra especie tiene una copia equivalente de este gen. Se podrían señalar ejemplos similares en áreas tales como la propensión al alcoholismo, los condicionantes de la orientación sexual, de la depresión y de la inclinación a actividades arriesgadas, el significado genético de las razas humanas, la antigüedad de nuestra especie y su relación con otros homínidos, entre otras muchas. Aunque estemos lejos de respuestas definitivas, creo que las implicaciones de este tipo de investigaciones son de enorme trascendencia e indican que el estudio del genoma humano propiciará, sin duda, un cambio cualitativo en la visión de los factores que condicionan nuestro funcionamiento,

no sólo en términos fisiológicos o patológicos, sino también en relación con nuestra historia evolutiva y en aspectos fundamentales de nuestro comportamiento. Estoy convencido de que la revolución biológica de fin del siglo XX hará surgir una nueva visión respecto a quiénes somos, aunque ello requerirá, seguramente, un largo periodo de maduración. Se trata de integrar una visión que tome en cuenta la omnipresencia y la influencia recíproca de los condicionantes genéticos, al igual que los ambientales y culturales, y de la libertad humana, en el funcionamiento de individuos y sociedades. Aunque es evidente que los elementos mencionados forman parte de la discusión desde hace muchos años, sólo hasta hace poco se acumularon datos sólidos surgidos de la investigación biológica.

Paradójica (y venturosamente), también los estudios realizados en el nivel genómico parecen imponer un cambio al examinar los sistemas biológicos: un enfoque menos reduccionista y más inclinado a abordar directamente la complejidad de los sistemas implicados. Tal vez esto contribuya a acercar más y más a los académicos y estudiosos de los ámbitos de la ciencia natural con los que cultivan las ciencias sociales y las humanidades. Entonces las posturas de carácter ético necesarias para resolver los dilemas a que nos enfrentamos surgirán de una comprensión de la naturaleza humana cada vez más influida por los progresos de la ciencia biológica. Conforme la capacidad de indagación e intervención en la naturaleza misma de nuestra especie avanza, nuestra generación se encuentra frente a un reto único: tenemos que decidir hasta dónde queremos llegar, ponderando implicaciones, asumiendo riesgos y manteniendo una mente abierta a los nuevos horizontes, aunque sin desechar los elementos culturales que nos confieren identidad.

Según la información de la que dispongo, las personas y organizaciones que mejor conocen el tema, aunque aceptan la inevitabilidad de ciertos riesgos, consideran la biotecnología una herramienta enormemente efectiva para afrontar muchos de los desafíos actuales y futuros en los terrenos de la alimentación, la salud y el medio ambiente. Asimismo, anticipan que los efectos adversos serán realmente moderados y que es posible llevar a efecto programas de investigación adecuados para sustentar la prohibición de actividades que impliquen riesgos inaceptables. Cuando el polvo que esta contienda levanta se asiente, las sociedades sabias habrán calculado la relación costo-beneficio, gracias al análisis de los pros y los contras efectuado en una discusión informada y de buena fe, y estarán mejor capacitadas para afrontar los retos del futuro. ♦