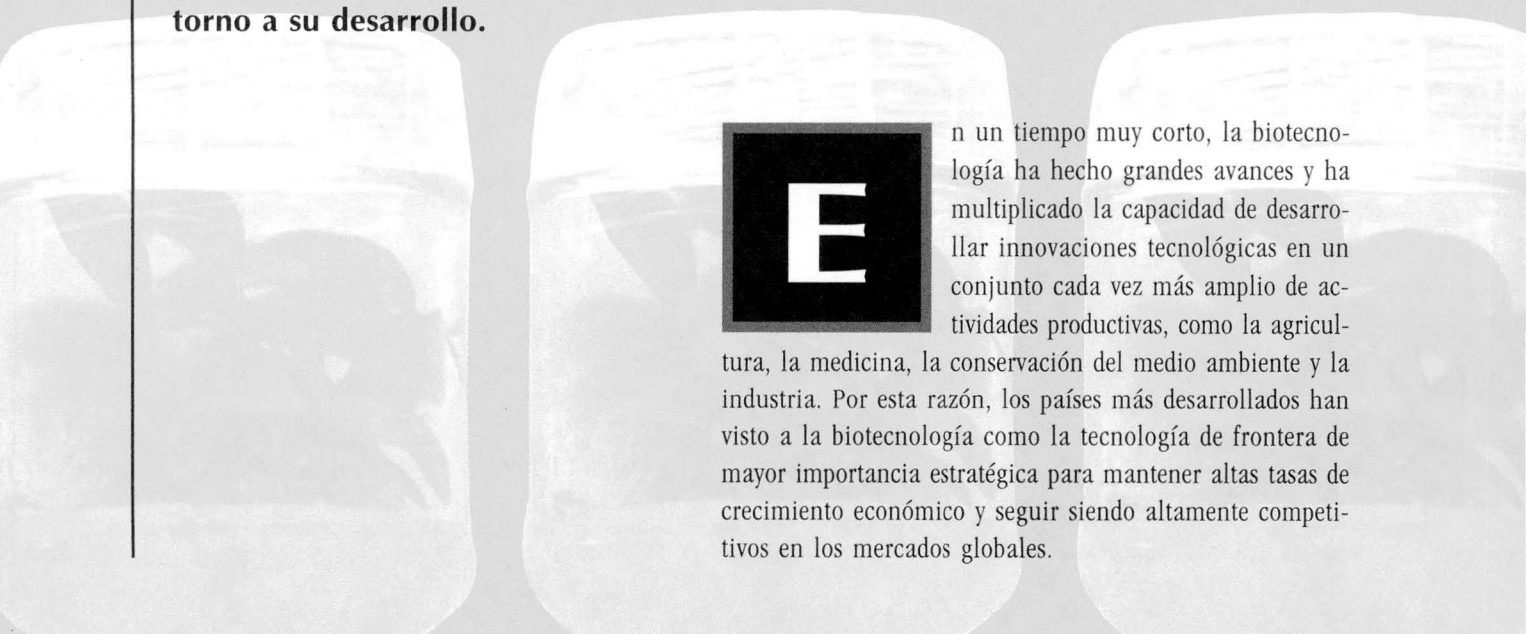


LA BIOTECNOLOGÍA:

FUNDAMENTOS, APLICACIONES Y RETOS

Por: **Myriam de Peña** Ph. D.
Fisióloga Vegetal
Jefe del Programa Nacional de Biotecnología -Colciencias

La biotecnología no es una ciencia en sí misma. Es un área fundamentada en diversas disciplinas que se ha constituido como la tecnología de frontera de mayor importancia estratégica del mundo moderno. El nacimiento de la biotecnología se sitúa generalmente en 1973, cuando fue clonado el primer gen humano responsable de la producción de insulina, y el de la biotecnología agrícola en 1983, cuando se inició la era de las plantas transgénicas u organismos modificados genéticamente (OMGs). Aquí se presenta una visión general de las actuales aplicaciones de la biotecnología, con el fin de que el lector pueda formarse una idea global de sus posibilidades y de algunas de las principales preocupaciones que existen en torno a su desarrollo.



En un tiempo muy corto, la biotecnología ha hecho grandes avances y ha multiplicado la capacidad de desarrollar innovaciones tecnológicas en un conjunto cada vez más amplio de actividades productivas, como la agricultura, la medicina, la conservación del medio ambiente y la industria. Por esta razón, los países más desarrollados han visto a la biotecnología como la tecnología de frontera de mayor importancia estratégica para mantener altas tasas de crecimiento económico y seguir siendo altamente competitivos en los mercados globales.

**MEDIANTE LA TRANSFORMACIÓN
GENÉTICA, LA BIOTECNOLOGÍA
TAMBIÉN HA PERMITIDO LA OBTENCIÓN
DE PLANTAS RESISTENTES A HERBICIDAS,
INSECTOS, PLAGAS Y ENFERMEDADES.**

El propósito de este artículo introductorio es presentar una visión general de las actuales aplicaciones de la biotecnología, con el fin de que el lector pueda formarse una idea global de sus posibilidades y de algunas de las principales preocupaciones que existen en torno a su desarrollo. Por otra parte, el artículo pretende servir como contexto para una mejor comprensión de los temas que distinguidos colaboradores desarrollan con mayor profundidad en otros artículos de esta revista.

**LOS FUNDAMENTOS
DE LA BIOTECNOLOGÍA**

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) define la biotecnología como *“toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.”* Incluye desde los procesos ancestrales de producción de vino y la panificación, pasando por la producción de ácidos orgánicos o antibióticos a través de procesos de fermentación —la denominada “biotecnología convencional”— hasta llegar a la moderna biotecnología, que involucra técnicas de manipulación genética.

La biotecnología no es una ciencia en sí misma, es un área intensiva en conocimiento científico y, por lo tanto, depende de la generación y aplicación de este conocimiento. También es multidisciplinaria, pues está fundamentada en diversas disciplinas. Efectivamente, algunos de los descubrimientos que nos permiten hacer biotecnología hoy día provienen principalmente del aporte de ciencias básicas como la bioquímica, la bio-

logía celular y molecular y la genética, entre otras, así como a la interrelación entre ellas.

Para empezar, recordemos que la materia viva está compuesta de sustancias químicas, y que cualquier función biológica puede ser descrita en términos de la estructura de esas sustancias y sus reacciones. Para entender cualquier proceso de vida es necesario entender la química de ese proceso. La bioquímica ha aportado un conocimiento muy valioso sobre la estructura, organización y función de la materia viviente en términos moleculares; sobre cómo su interacción lleva al ensamblaje de estructuras organizadas, como células, tejidos multicelulares y organismos; sobre las distintas formas como un organismo almacena y transmite la información que necesita para crecer y reproducirse a sí mismo; los cambios químicos que acompañan la reproducción, el envejecimiento y la muerte de las células o de los organismos y cómo son controladas las reacciones químicas dentro de la célula.¹

A partir de la teoría celular propuesta por los alemanes Schleiden y Schwann en 1839, sabemos que la célula es la unidad de la organización biológica, que todo ser vivo está conformado por células, que la célula no es sólo la unidad fundamental, por lo que respecta a su función, sino también en cuanto a su estructura, y que es capaz de dar origen a un nuevo organismo. Esto implica que cada célula diferenciada de un organismo multicelular retiene toda la información que ha estado presente en la primera célula, el huevo fertilizado. Esta teoría se conoce como la teoría de la totipotencia de las células diferenciadas.²

Por varios años, las investigaciones en estos campos tomaron rumbos diferentes. Mientras los biólogos celulares, ayudados por instrumentos cada vez más potentes, se dedicaban a describir la anatomía micros-

¹ Mathews, CK. y van Holde KE. The scope of biochemistry. En: Biochemistry, Mathews, CK. y van Holde KE, (Eds.). The Benjamin/Cummings Publishing Company, Redwood City, California, pp 3-23, 1990.

² Brachet, H. La célula viva. En: la célula viva: selecciones de Scientific American, Editorial Blume, Madrid, pp 13-24, 1970.

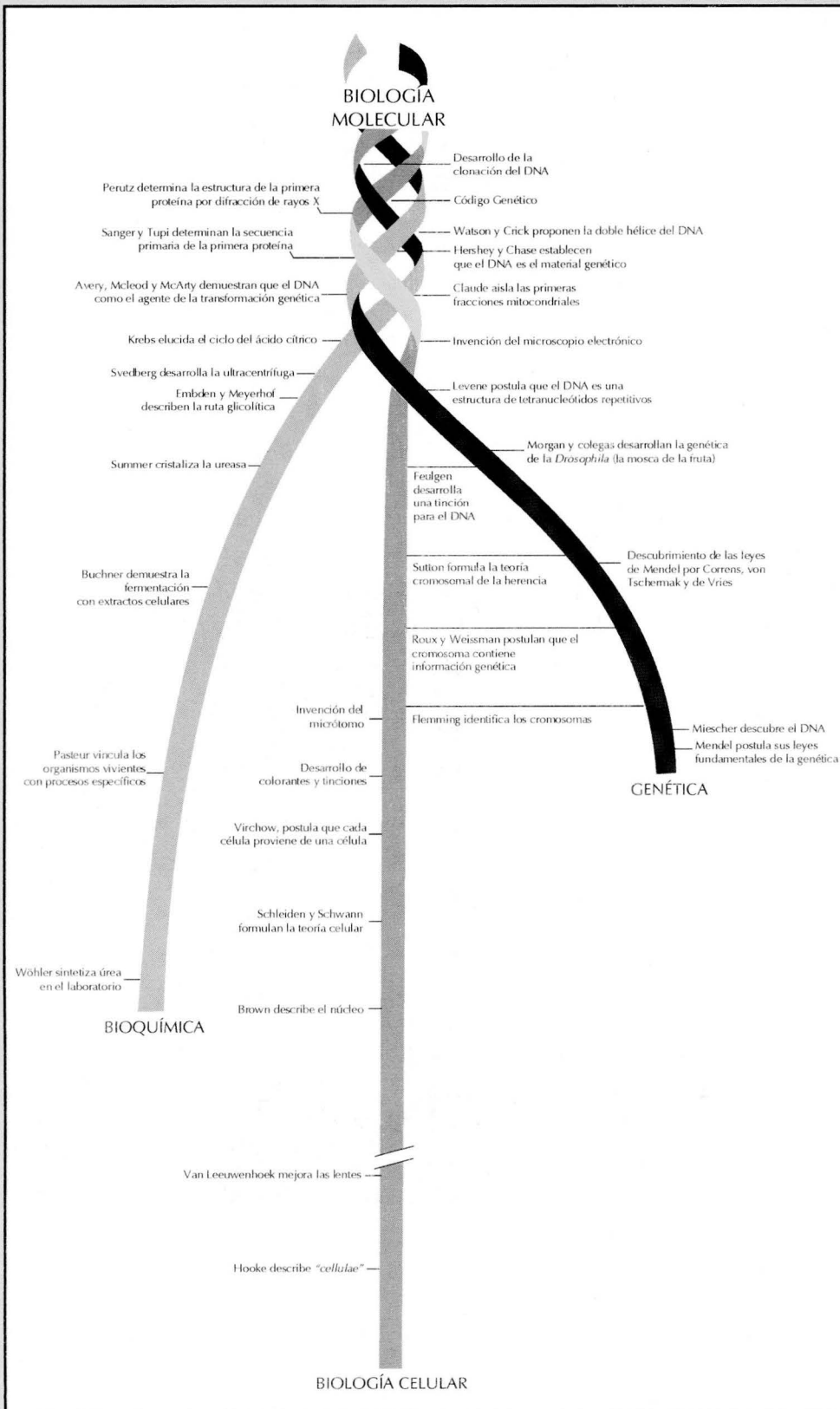


FIGURA 1.
INTERRELACIÓN DE LA
BIOLOGÍA CELULAR, LA
BIOQUÍMICA Y LA
GENÉTICA, COMO
DISCIPLINAS QUE DIERON
ORIGEN A LA BIOLOGÍA
MOLECULAR.

Tomado del libro:
 Biochemistry. Mathews,
 CK. y van Holde KE,
 (Eds.). The Benjamin/
 Cummings Publishing
 Company, Redwood City,
 California, p. 1990.

cópica de la célula, los bioquímicos, por su parte, se dedicaban a estudiar la actividad química de los compuestos que obtenían al destruir la célula y descifraban algunos de los caminos por los cuales la célula llevaba a cabo las reacciones bioquímicas que sustentaban la vida. Sin embargo, se sabía muy poco sobre cómo esas reacciones eran controladas o cómo la información que las controlaba era almacenada y transmitida, cuando la célula se dividía.³

Cuando, a mediados del siglo XIX, Gregor Mendel descubrió que las características hereditarias estaban determinadas por unidades transmitidas de una manera predecible entre generaciones, nació la idea del *gen* como unidad de la información hereditaria. Finalmente, con la descripción que hicieron en 1953 James Watson y Francis Crick de la estructura del DNA, la doble hélice, inmediatamente ésta sugirió cómo la información genética estaba codificada en la estructura de la molécula y cómo podía ser transmitida intacta de generación en generación. En ese momento, la intersección de la biología celular, la bioquímica y la genética sentó las bases para el desarrollo de la biología molecular, una de las ciencias fundantes de la biotecnología moderna (Fig. 1, página anterior).

Dos descubrimientos posteriores fueron definitivos en su desarrollo. Por un lado, el descubrimiento que hicieron Boyer y Cohen de las enzimas de restricción (enzimas que permiten cortar la cadena del DNA en sitios específicos) y la posibilidad de incorporar estos fragmentos de DNA en otros genomas (particularmente bacterias y virus), o sea, la clonación del DNA. La clonación involucra la construcción de nuevas moléculas de DNA, mediante la unión de fragmentos de DNA que provienen de fuentes diferentes. El producto de esta unión se denomina DNA recombinante (Figura 2), y las técnicas para obtenerlo constituyen el campo propio de la ingeniería genética.

En el caso de la biotecnología vegetal, otros descubrimientos han sido también fundamentales. En 1902, el botánico alemán G. Haberlandt planteó por primera vez que si el principio de la totipotencia era verdadero, entonces sería posible aislar y cultivar las células

en un medio apropiado y estudiar sus características. Este planteamiento y su posterior confirmación experimental son el fundamento de lo que hoy conocemos como el cultivo de tejidos vegetales, que, en su definición más general, se refiere al cultivo y mantenimiento de material vegetal *in vitro*. El cultivo *in vitro* ha servido como herramienta experimental para estudios sobre la división celular, la diferenciación, la fisiología y la bioquímica de las plantas; sin embargo, su mayor impacto tanto en la investigación fundamental como en la aplicada, está en la posibilidad que abrió de modificar genéticamente la célula vegetal y recuperar de allí una planta completa.

El nacimiento de la biotecnología moderna se sitúa, por lo general, en 1973, cuando fue clonado el primer gen humano responsable de la producción de



OBTENCIÓN DE EMBRIONES DE CAFÉ POR CULTIVO DE TEJIDOS.

³ Brachet, H. Op cit. Pág. 13-24

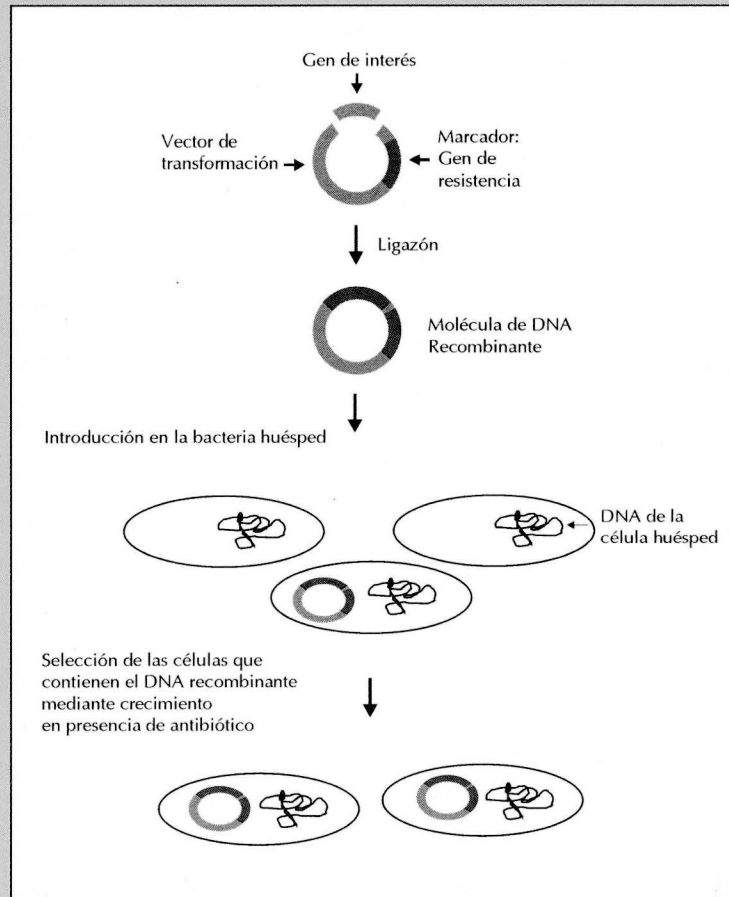
insulina, mediante el uso de las técnicas del DNA recombinante. El inicio de la biotecnología agrícola moderna se sitúa en 1983, cuando el primer gen de una planta fue transferido de una especie a otra y se inició la era de las plantas transgénicas, también conocidas como organismos modificados genéticamente (OMGs).⁴

Con el anuncio, en junio de 2000, de la culminación de la secuencia del genoma humano, se inicia una nueva era de la biotecnología, llamada la era postgenómica, que es el estudio sobre cómo los genes y la información genética están organizados en el genoma y cómo esta organización determina su función. El *Proyecto Genoma* se había iniciado en 1990, con el objetivo de determinar la secuencia completa del DNA humano. En las conclusiones del artículo presentado por el Consorcio Internacional para la Secuenciación del Genoma Humano, publicado en la edición especial de la revista *Nature* sobre el Genoma humano, se dice: "El Proyecto Genoma Humano es sólo la última adición a un programa científico extraordinario, cuyos orígenes se remontan cien años atrás, al redescubrimiento de las leyes de Mendel y cuyo final no esta aún a la vista. En algún sentido, representa la culminación de los esfuerzos del siglo pasado por descubrir la información genética y es el fundamento de los esfuerzos de este siglo por entenderla".⁵



**CARÁTULA
NÚMERO ESPECIAL
DE LA REVISTA
NATURE
DEDICADO AL
GENOMA HUMANO.**

FIGURA 2.



Pero la sola secuenciación del genoma humano no es suficiente para determinar los genes y la función que estos desempeñan en cada organismo. Una nueva era de investigación se abrió con este trabajo: la proteómica, o sea, el estudio de las proteínas. Si el proyecto genoma humano buscaba describir los genes, ésta busca elucidar el paso de la información del DNA al RNA, y de allí a las proteínas. Nuevamente, las in-

⁴ Krattiger, AF. Public-Private partnerships for efficient proprietary biotech management and transfer, and increased private sector investments. A briefing paper with six proposals commissioned by UNIDO. IP Strategy Today, No 4-2002. www.biodevelopments.org.

⁵ International Human Genome Sequencing Consortium. Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature*, 409, 860-921, 2001.

investigaciones bioquímicas sobre las funciones, las interrelaciones de las proteínas y su regulación en el organismo completo entrarán a jugar un papel trascendental en esta nueva era de la biotecnología.

Esta tarea hubiera sido imposible sin la ayuda de la informática, lo que ha convertido a la genética en una ciencia de la información, y de ahí la aparición de una nueva ciencia la de la bioinformática, que es la ciencia del manejo y el análisis de la información biológica, y en la que son diseñados nuevos programas para buscar los posibles genes entre los miles de datos guardados en las bases de datos.

APLICACIONES Y USOS DE LA BIOTECNOLOGÍA

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, por su sigla en inglés), define la biotecnología como: *“una tecnología clave para el nuevo milenio que tiene un inmenso rango de aplicaciones en medicina, agricultura, procesamiento de alimentos, protección ambiental, minería e incluso nanoelectrónica”*.⁶

En el campo de la salud humana

A pesar de que mundialmente se habla más de los organismos modificados genéticamente (OMGs) de uso agrícola y para la alimentación, en las últimas décadas, la ingeniería genética y su aplicación en salud han constituido el foco principal de la biotecnología moderna. Hoy en día, la mayor parte de la investigación y el desarrollo mundial en biotecnología y las aplicaciones de tecnologías de punta están en el campo de la salud. El primer producto biotecnológico aprobado para su uso en humanos fue la insulina que salió al mercado en los Estados Unidos, en 1982. En la actualidad, hay en el mercado más de 170 drogas y vacunas producto de la biotecnología y más de 350 medicinas biotecnológicas en proceso de aprobación, y se espera que la tecnología del DNA revolucione el desarrollo de nuevas vacunas (UNCTAD).⁷ Otras áreas que han sido impactadas profundamente por la biotecnología moderna son la medicina forense y los sistemas de diagnóstico.

Con el anuncio de la secuenciación del genoma humano se abrió una nueva era para la biotecnología. Hasta los años ochenta, la industria farmacéutica estuvo orientada por la química, y la producción de una nueva medicina empezaba por la creación de compuestos químicos y su evaluación en animales. El nuevo conocimiento derivado del estudio del genoma humano permitirá elucidar los mecanismos moleculares de las enfermedades y, en consecuencia, el desarrollo de los nuevos sistemas diagnósticos y terapéuticos estarán enfocados a esos blancos moleculares considerados importantes para enfermedades particulares. Por lo tanto, la nueva era de la producción de medicamentos se centrará en la genómica funcional (el estudio de los genes en un organismo particular y bajo condiciones específicas).⁸

En el campo agrícola y la industria

La biotecnología ha abierto nuevas posibilidades en diferentes aspectos de la agricultura, como el incremento de la eficiencia de los programas de mejoramiento genético, la mejora en la productividad de los cultivos y de la producción agrícola. Por su parte, el cultivo de tejidos vegetales ha permitido la multiplicación masiva de material de siembra de alta calidad genética y fitosanitaria, como en el caso de los cultivos de flores y de otras especies de propagación asexual, así como la creación de bancos de germoplasma y su conservación *in vitro* (colección de individuos que representan la diversidad genética de un género o especie).

Así como las huellas dactilares son únicas en cada ser humano, el DNA de cada organismo vivo tiene un perfil único que permite diferenciarlo de otro. Los

⁶ United Nations Conference on Trade and Development. Key Issues in Biotechnology. UNCTAD/ITE/TEB/10. United Nations, New York and Geneva. 2002.

⁷ *Ibidem*.

⁸ Biotechnology and Development Monitor. Life Science Companies: Can they combine, seeds, agrochemicals and pharmaceuticals? Biotechnology and Development Monitor No. 40, pp 14-19, December 1999.



MULTIPLICACIÓN DE PIÑA "IN VITRO".

marcadores moleculares son una técnica que, con base en las diferencias que existen en el DNA de cada organismo, permiten estudiar la variabilidad genética presente en las distintas especies y aun entre individuos de una misma especie. Los marcadores moleculares permiten caracterizar, mantener y utilizar la diversidad genética, complementar y facilitar el proceso de selección en los programas de mejoramiento genético. Es lo que se conoce como *selección asistida por marcadores*.

Por otra parte, a través de la biotecnología es posible producir nuevos insumos para la producción agrícola como biopesticidas y bioplaguicidas, que son utilizados en el control biológico de plagas y enfermedades, y biofertilizantes. Estos productos son obtenidos mediante el uso de microorganismos y pueden reemplazar los insumos químicos tradicionales, gracias a lo cual se puede reducir el impacto que estos tienen sobre el medio ambiente.

Mediante la *transformación genética*, la biotecnología también ha permitido la obtención de plantas resistentes a herbicidas, insectos, plagas y enfermedades. En el año 2001, había en el mundo 52.6 millones de hectáreas cultivadas con plantas transgénicas. En la actualidad se busca la producción de una nueva generación de plantas con mayor contenido nutritivo, por ejemplo, el arroz dorado, que tiene un contenido mayor de beta-caroteno (el precursor de la vitamina A) y que aún se encuentra en proceso de evaluación.^{9,10}

Pero también se ha logrado producir plantas resistentes a sequías, a suelos ácidos y a otro tipos de condiciones adversas.

En el caso de la industria de alimentos, se han desarrollado métodos biotecnológicos para la bioconversión de almidón a productos edulcorantes, saborizantes y productos para destacar el sabor, para el procesamiento de jugos de frutas, la producción de aminoácidos y otros nutrientes especiales, pigmentos y vitaminas de microalgas, nuevos alimentos producto de la fermentación, enzimas para la producción de quesos, productos lácteos libres de lactosa e híbridos de levaduras.

Finalmente se cree, inclusive, que la agricultura se beneficiará de la genómica aun antes que el sector de la salud humana. Como lo señala el director del Instituto Nacional de Ciencias Agrobiológicas de Japón (NIAS), se espera que en el caso del arroz, el cereal más importante para la alimentación de la mitad de la población mundial, la secuencia completa de su genoma ayudará a los investigadores a identificar genes cruciales y permitirá su transferencia a las variedades locales. Se piensa que esta secuencia estará finalizada más rápidamente y a un menor costo, debido al acuerdo entre el NIAS y Syngenta, una compañía líder en biotecnología agrícola.¹¹

En el campo de la biodiversidad y los recursos genéticos

En su documento sobre una propuesta para el fortalecimiento de la transferencia de la biotecnología, Anatole Krattiger define la transferencia tecnológica como "el movimiento geográfico de capacidad productiva", y propone al material genético también como

⁹ James, C. Preview: Global review of commercialized transgenic crops: 2001. ISAAA Briefs No 24: Preview. ISAAA, Ithaca, N.Y. 2001.

¹⁰ Chrispeels, MJ. Foods from genetically modified crops. San Diego Center for Molecular Agriculture. 2002. www.sdcma.org.

¹¹ Crop Biotech Update: Agreement to share rice genome data. www.isaaa.org/kc, Mayo 31, 2002.



una tecnología “porque es el medio para desarrollar un rango amplio de nuevos productos; es una capacidad productiva en una forma no refinada”.¹²

El lazo entre la biotecnología y la biodiversidad se hace cada vez más fuerte, por su lado gracias al uso actual de los marcadores moleculares y, en un futuro cercano, por el uso de la genómica que ampliaría sus aplicaciones en la caracterización y valoración de la diversidad genética, a través de la búsqueda de nuevos compuestos con aplicaciones en la industria farmacéutica y en la industria de alimentos, lo que se conoce como bioprospección. Podríamos decir que la diversidad biológica es la materia prima de la biotecnología. Esto ha llevado a las mayores empresas farmacéuticas a realizar alianzas con importantes centros de investigación.

Otra área importante la constituye el uso de la biodiversidad, representada en microorganismos y plantas, para la reducción de la contaminación del aire o de los sistemas acuáticos y terrestres. Esta tecnología es conocida como biorremediación, que es la biodegradación de sustancias contaminantes, mediante la utilización de microorganismos y plantas. Algunas aplicaciones de la biorremediación son el tratamiento de aguas domésticas e industriales, de aguas procesadas y de consumo humano, el tratamiento de suelos y de sechos sólidos.

Finalmente, la nueva era que se abrió con la genómica está cambiando la manera de hacer ciencia. En el pasado, se estudiaba un gen aislado. En el presente, podemos estudiar múltiples genes simultáneamente y en diferentes contextos experimentales. En el futuro, se integrará e interpretará la información biológica de diferentes fuentes, pero para poder entender la función de los genes, para llenar el vacío entre el genotipo y el fenotipo, necesitaremos del conocimiento que sólo puede ser proporcionado por ciencias como la bioquímica. Estos avances marcan una nueva dimensión para la biotecnología, por las posibilidades que ofrecen en la detección temprana de enfermedades genéticas, en el descubrimiento de nuevas y mejores drogas, en la terapia génica, en el mejoramiento ge-

nético de plantas de importancia agronómica, para mencionar sólo algunas de sus posibilidades. Por eso no sorprende que las grandes empresas líderes en biotecnología tengan bajo el mismo techo productos como semillas, agroquímicos, productos veterinarios y medicamentos humanos.¹³

LAS PREOCUPACIONES SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA

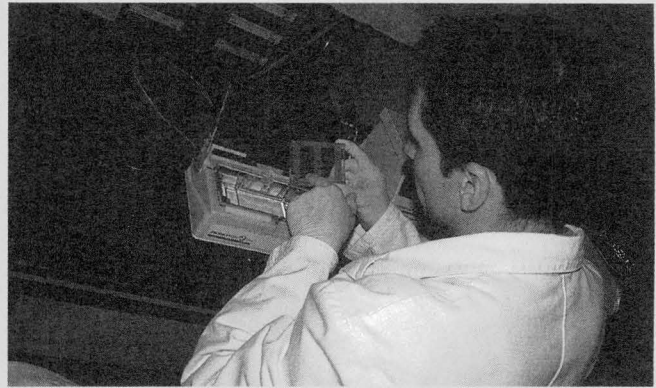
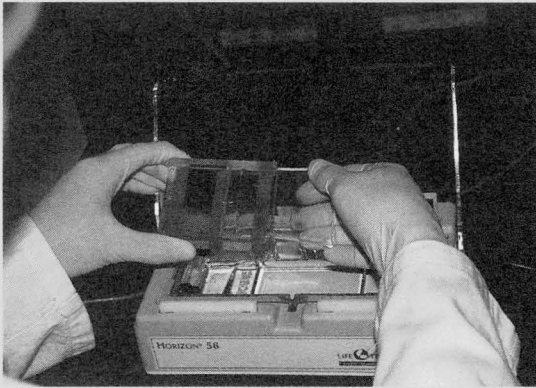
Como toda nueva tecnología ésta, que tiene que ver directamente con la vida, es motivo de preocupación por sus posibles consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente, particularmente con el desarrollo de las plantas transgénicas. También se han planteado serios interrogantes éticos sobre su utilización, en especial en el campo de la clonación.

Estas preocupaciones han llevado a grandes debates públicos sobre el tema y a posiciones diametralmente opuestas, entre los que favorecen el uso de esta tecnología y aquellos que se oponen rotundamente a ella. En el caso de los OMGs, estas preocupaciones se centran en los impactos no deseados sobre los ecosistemas en los cuales estos organismos son liberados, su posible efecto sobre la biodiversidad, la aparición de nuevas malezas resistentes a los herbicidas o su posible incidencia en problemas de alergenicidad, en el caso de los alimentos.

En el caso de la biotecnología agrícola, lo que ha caracterizado este debate es que son sólo las aplicaciones más controvertidas, como aquellas relacionadas con su uso en la alimentación, las que son discutidas o mencionadas en los foros y en los medios de comunicación. Como lo menciona Lurquin, “la biotecnología agrícola ha sido condenada, en la mente de muchos, antes de tener una audiencia justa. La mayoría, si no todos los beneficios que ésta ha traído a la ciencia básica o las aplicaciones menos controversiales

¹² Krattiger, AF. Op cit.

¹³ Biotechnology and Development Monitor. 1999, Op. cit.



ANÁLISIS DEL DNA EN EL LABORATORIO.

han sido ignoradas o malinterpretadas”.¹⁴ Por lo general, no se analizan con fundamentos científicos los pros y los contras de los alimentos transgénicos; por el contrario, se enfatizan sus daños potenciales, sin hacer una evaluación crítica. La polarización de las posiciones entre defensores y opositores ha dejado al consumidor y a la opinión pública en una encrucijada sobre a quién creerle finalmente. En últimas, la aceptación o rechazo de estos alimentos deberá estar basado en rigurosas pruebas científicas de evaluación de riesgo y en información veraz para el consumidor.

Este debate, así como la preocupación de los gobiernos y de los propios investigadores, ha llevado a la promulgación de leyes y normas de bioseguridad que regulan la producción, la liberación y comercialización de los OMGs. De acuerdo con estas regulaciones, un OMGs debe ser sometido a una rigurosa evaluación, antes de que su uso comercial sea permitido. Dada la importancia del tema, éste es discutido más ampliamente en uno de los artículos de este número.

En el caso del genoma humano, las mayores preocupaciones son de tipo ético y están relacionadas con el mal uso que se le pueda dar a la información genética de las personas, por ejemplo, que ésta llegara a ser utilizada como una forma de discriminación para negarle un seguro a una persona a la que se la ha practicado un estudio genético y se descubre que es portadora de un gen relacionado con alguna enfermedad.

También hay gran preocupación sobre aspectos relacionados con la clonación humana.

Finalmente, otras de las preocupaciones tiene que ver más con una característica propia del desarrollo de la biotecnología hoy en día, y es que buena parte de ésta ha quedado en manos de la empresa privada. La inversión privada en biotecnología supera ampliamente la del estado, aun en países como los Estados Unidos.

LA BIOTECNOLOGÍA Y LA PROPIEDAD INTELECTUAL

La información ha dejado de ser un bien de dominio público, para estar protegida por derechos de propiedad intelectual. Si bien los marcos regulatorios en materia de propiedad intelectual, bioseguridad y acceso a recursos genéticos deben respetar los estándares internacionales, de modo que propicien la inversión extranjera y las vinculaciones entre investigadores e inversionistas nacionales e internacionales, sin embargo, a la hora de aplicarlos surgen algunas preguntas que merecen ser discutidas desde la perspectiva de un país en desarrollo, particularmente consi-

¹⁴ Lurquin, PF. Where we are now and the future. En: The green phoenix: a history of genetically modified plants. pp 103-122. Columbia University Press, New York, 2001.

derando las posibilidades que actualmente ofrece la biotecnología.

En el campo de la biotecnología, el problema de la propiedad intelectual surge en el conflicto entre dos principios fundamentales: por un lado, se busca estimular el esfuerzo y la inversión en el desarrollo de nuevas tecnologías, otorgando un monopolio temporal sobre la producción comercial de la invención; por otro lado, se pretende evitar que este monopolio se convierta en un obstáculo para el avance de la ciencia y la tecnología.¹⁵

Debido a los grandes avances de la biotecnología, hoy día existe una mayor presión para que se amplíe el ámbito de los derechos de propiedad intelectual, como un mecanismo para facilitar la recuperación de la inversión privada, asegurar el acceso a los recursos genéticos mundiales sin restricción y mejorar la posición comercial del país propietario de la nueva tecnología como mecanismo de competencia internacional.¹⁶ Estos mecanismos llevarían a ampliar las prerrogativas del titular de los derechos y, al mismo tiempo, a reducir los mecanismos de transferencia de tecnología en aspectos como:

- Mayores restricciones a los procesos de transferencia tecnológica, debido a regulaciones internacionales más fuertes sobre la propiedad intelectual.
- Restricción a la base de conocimiento biotecnológico en los países desarrollados, como mecanismos de competitividad.

Desde un punto de vista global, los países industrializados seguirían siendo los generadores de la tecnología y los países en desarrollo los compradores de la misma, pero con condiciones más restrictivas de acceso.

En materia de biodiversidad y su relación con las leyes de propiedad intelectual, ésta ha cobrado gran relevancia en los foros internacionales, debido a las posibilidades que ofrece la biotecnología para hacer un aprovechamiento más amplio de los recursos genéticos en el mejoramiento de especies y su utilización en el desarrollo de productos comerciales. Sin

embargo, no se ha logrado un acuerdo internacional sobre los temas de acceso, conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos y la distribución de beneficios sobre su uso. Estos han sido temas de discusión en el Convenio de la Diversidad Biológica y en el Compromiso Internacional sobre Acceso Facilitado a los Recursos Genéticos, de la FAO y más recientemente en la cumbre sobre desarrollo sostenible en Johannesburgo.

Establecer acuerdos en estos aspectos podría significar para los países en desarrollo una oportunidad de acceder a nuevas tecnologías y construir una capacidad propia de investigación. Son de destacar aspectos como: la repartición justa de beneficios a través de la transferencia de tecnología, el desarrollo de capacidades, el intercambio de información y la financiación.

IMPLICACIONES PARA COLOMBIA

Estamos ante una nueva era del desarrollo científico y tecnológico con enormes posibilidades, pero con grandes retos, particularmente para un país como Colombia.

Sin duda la biotecnología representa un factor crítico para la economía de los países en vías de desarrollo. De un lado, ofrece grandes oportunidades para reforzar la competitividad de sus productos tradicionales y para aprovechar los nuevos mercados que se están abriendo con sus aplicaciones pero, por otro lado, la falta de incorporación de la biotecnología plantea serias amenazas, a causa de la pérdida de competitividad frente a los países que están aplicando innovaciones biotecnológicas en forma creciente.¹⁷

¹⁵ Torres, R. Propiedad Intelectual: Biotecnología y Biodiversidad. En: Biotecnología: legislación y gestión para América Latina y el Caribe. Colciencias; Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Bogotá. 1995.

¹⁶ *Ibidem*.

¹⁷ Torres R. Política Nacional de Biotecnología, sexto borrador, consultoría contratada por el Departamento Nacional de Planeación. Dirección de Desarrollo Agrario. Bogotá, Junio 2002.

Colombia cuenta con una serie de condiciones que favorecen el desarrollo de la biotecnología en el país, entre ellas, el hecho de contar con una infraestructura básica de investigación en biotecnología y una amplia tradición en campos complementarios como la biología, la medicina y la agricultura, así como de una muy abundante disponibilidad natural de biodiversidad y de recursos genéticos.

La biotecnología tiene mucho que ofrecer y puede tener un impacto positivo en la seguridad alimentaria y en la sostenibilidad de la agricultura, en la salud, en la utilización y valoración de nuestra biodiversidad. Pero para que todo su potencial pueda ser desarrollado se requiere, de una parte, de una alta capacidad en ciencia y tecnología, que resulte competitiva en el ámbito internacional, y por otra parte, un entorno económico atractivo para inversiones que se caracterizan por su alto riesgo y sus largos periodos de maduración. Así mismo, se requiere la creación de una capacidad institucional para agilizar la integración de los procesos de investigación y desarrollo, con los procesos de producción. Para ello, es necesario que se den, entre otras, las siguientes condiciones:

- Decisión política de promover la biotecnología, con acciones que permitan el fortalecimiento de la capacidad científica y tecnológica nacional para el desarrollo de la biotecnología, de acuerdo con estándares internacionales, y la movilización de recursos humanos y financieros para investigación y desarrollo, y transferencia de tecnología.
- Fortalecimiento de la capacidad empresarial y comercial para llevar a cabo proyectos de desarrollo y de innovación tecnológica en sectores claves de la producción, mediante la incorporación de bienes y servicios basados en la aplicación de la biotecnología.
- Diseño, implementación y monitoreo efectivo de sistemas regulatorios, tanto para bioseguridad como para derechos de propiedad intelectual, así como el fortalecimiento del marco legal pertinente y la creación de capacidad institucional para su puesta en vigor, con el fin de establecer condiciones claras y favorables para las inversiones nacionales y extranjeras en biotecnología en el país.

- Apoyo a la creación de capacidad institucional para el ofrecimiento de servicios que agilicen la formulación y la ejecución de proyectos orientados al desarrollo de bienes y servicios y, en general, la integración de los mercados para la biotecnología.¹⁸
- Necesidad de cooperación internacional. La biotecnología y sus nuevos desarrollos están cambiando nuestra manera de hacer ciencia, porque la necesidad de compartir la infraestructura, los recursos económicos, las bases de datos y el conocimiento, ha llevado, en los países desarrollados, a establecer relaciones de cooperación entre empresas nacionales, grupos internacionales y entre el sector público y el sector privado.¹⁹

Pero la condición fundamental para el desarrollo de la biotecnología en el país es la participación de todos los actores involucrados en la toma de decisiones sobre su desarrollo y sus aplicaciones. Tanto el estado como la comunidad científica colombiana deben reflexionar muy seriamente sobre las oportunidades que la biotecnología puede ofrecer a un país tan rico en recursos genéticos como el nuestro, pero que necesitará hacer un esfuerzo conjunto y coordinado para poder lograr aprovechar todas las posibilidades que esta nueva tecnología promete, así como medir y valorar sus riesgos responsablemente. □

¹⁸ Torres R. Departamento Nacional de Planeación. Op cit.

¹⁹ Juma, C y Konde, V. Industrial and environmental applications of biotechnology: Developing countries in a new bioeconomy. A paper prepared for the United Nations Conference on Trade and Development. Geneva, Switzerland. Belfer Center for Science and International Affairs, Kennedy School of Government. Universidad de Harvard. 2001.

Juma y Konde han definido los avances en biotecnología y sus aplicaciones industriales como la nueva "bioeconomía" y proponen que, para que los países en desarrollo puedan participar efectivamente en ella, se requiere desarrollar y ajustar al menos cinco áreas estratégicas: acceso a los mercados, protección a la propiedad intelectual, regulación, evaluación de riesgos y alianzas internacionales. Estas alianzas están encaminadas a reducir los riesgos económicos en el desarrollo de un nuevo producto y a compartir información, y pueden jugar un papel fundamental en el desarrollo de capacidades tecnológicas para las instituciones y empresas de los países en desarrollo.