

En la presente década se han concretado en los países industrializados cambios significativos en las aplicaciones tecnológicas, especialmente en las áreas de biotecnología e ingeniería genética. En un plazo de catorce años, esto es, en los inicios del próximo siglo, entre el 30 y el 50% del mercado mundial de productos de la biotecnología corresponderá a aplicaciones en la agricultura.

Debido a ello, cada vez se hace más necesario profundizar en el conocimiento genético de las plantas y conocer su resistencia a diferentes tipos de enfermedades. Esta información tiene señalada importancia para la agricultura porque permite estudiar la transferencia de propiedades de unas plantas, a otras más interesantes desde el punto de vista económico y lograr así una considerable mejora en la calidad y en el rendimiento de las cosechas.

Dentro de los estudios que se realizan con mayor empeño por parte de los científicos, se encuentra el de la obtención de plantas de cultivo capaces de emplear el nitrógeno de la atmósfera, con el fin de independizar la práctica agrícola del uso de abonos químicos nitrogenados, costosos y contaminantes.

Las técnicas realizadas durante siglos en forma empírica han adquirido con la genética una gran eficacia. La producción por hectárea de cultivos como el maíz se ha multiplicado por cuatro en sólo treinta años y, con la introducción de variedades mejoradas de trigo, la India un país con déficit de cereales, se ha convertido en exportador.

Con el desarrollo de la tecnología del ADN recombinante hoy se pueden introducir en las plantas, con el objeto de mejorarlas, genes procedentes de otras plantas, así como de animales, bacterias o, incluso, genes sintéticos. El límite en este campo lo pone la imaginación humana. Se destacan los progresos en las técnicas de transformación de vegetales consistentes en la introducción de genes previamente "clonados" en las plantas de cultivo

más importantes, como los cereales, con los cuales se alimenta la humanidad. Esto quiere decir que es posible introducir en las plantas de cultivo que se desea mejorar, fragmentos de ADN de cualquier procedencia, para hacerlos funcionar en sus células.

El éxito logrado en este campo se debe por una parte, a la introducción de ADN en células vegetales, lo que ha demostrado ser una operación más fácil de lo que se esperaba y, por otra, a que es posible regenerar plantas a partir de células en cultivo.

La introducción del ADN en las células vegetales se puede llevar a cabo por dos vías. En algunos casos, estas técnicas son comunes a las empleadas en sistemas animales, como la microinyección y la transformación directa. La otra alternativa, más prometedora, consiste en el empleo de los denominados "vectores naturales de transformación" con el empleo de virus.

Los primeros permisos para el ensayo en el campo de plantas con tolerancia a los herbicidas, obtenidas con esta tecnología, están en manos de los americanos y parece ser que no encontrarán los problemas del uso de bacterias manipuladas.

Una de las tendencias actuales en los laboratorios de biotecnología avanzada consiste en la modificación del "genoma" de plantas, con el fin de incrementar la resistencia a los herbicidas, a las infecciones producidas por virus, para aumentar el contenido de algún factor de importancia, por ejemplo, mayor producción de aminoácidos, de vitaminas o de otros productos útiles para la alimentación y en esta forma aumentar el valor económico de las plantas de cultivo.

Asimismo, se puede modificar el metabolismo secundario de las plantas, con el fin de aumentar la producción de alguna sustancia concreta y también para que cultivos celulares en suspensión o plantas enteras produzcan alguna sustancia de interés industrial o farmacéutico.



LOS CULTIVOS DEL FUTURO

Primitivo Briceño Moreno*

Manipulación de bacterias

Debemos señalar que la mayoría de los estudios de ingeniería genética se llevan a cabo a través de la manipulación de bacterias. Por este motivo, es importante tener en cuenta que las técnicas de transformación no son de utilidad si no existen genes con los cuales transformar la planta o si, una vez introducido el gen en el vegetal éste se expresa sin un tipo de regulación apropiado o perturba de forma importante el metabolismo de la planta. El caso de las bacterias que han sido modificadas para evitar el efecto de las heladas es bien conocido.

Un ejemplo de mayor relieve son las bacterias que intervienen en la fijación del nitrógeno atmosférico; entre ellas, las pertenecientes al género *Rhizobium*, que viven en simbiosis con las leguminosas. En estos momentos, equipos de científicos trabajan en la posibilidad de adaptarlas, mediante la manipulación genética, a una simbiosis con otro tipo de especies.

Mediante técnicas de laboratorio, que incluyen el empleo de enzimas de restricción, obtenidas de microorganismos capaces de cortar la molécula de ADN en una serie de fragmentos diferentes, y otras, las ligasas, que posibilitan el empalme o unión de fragmentos diferentes, se puede obtener ADN recombinante que, junto con un método adecuado para introducir en las células o en los cloroplastos, habitualmente por medio de una molécula de ADN transportadora o "vector", proporciona nuevas posibilidades para obtener plantas de cultivo diferentes a las actuales en cuanto a mayor productividad, resistencia a las enfermedades y otras características de gran valor económico.

La nueva revolución biológica no se basa en las materias primas tradicionales como el carbón, petróleo, hierro, acero, uranio, sino en el empleo de microorganismos, previamente manipulados desde el punto de vista genético, para la obtención de sustancias nuevas de importancia alimentaria y comercial.

Los microorganismos y las células vegetales son los protagonistas de la nueva revolución biológica. Estos seres diminutos, pero muy eficientes, en manos de los científicos y de los ingenieros, se convierten en verdaderas fábricas para producir o sintetizar una serie de productos que por la vía tradicional resultan muy costosos, debido al gran consumo de energía fósil, de complicada fabricación, y ocasionan la contaminación ambiental, lo cual no ocurre con el uso de los microorganismos.

Vectores para clonación de genes en células eucariotas

Hoy se han desarrollado técnicas para la obtención de plantas completas a partir de células cultivadas sin emplear semillas. En esta tecnología se utiliza un descubrimiento reciente: los plásmidos de ciertas bacterias (trozos circulares de ADN que viven independientes de la célula bacteriana) que se encuentran en el suelo y se integran de manera natural en los cromosomas de las plantas que infectan. El resultado ha dado origen a una extraordinaria

tecnología que para mejorar las plantas de cultivo permite introducir en ellas genes extraños.

El *Agrobacterium tumefaciens* vive en el suelo, desde donde puede infectar un amplio espectro de especies vegetales. La infección se realiza en zonas dañadas, desprovistas de la cubierta externa y que al introducirse producen un cambio en la planta, la presencia de una neoplasia, es decir, un crecimiento desordenado de las células del derredor, lo que forma un tumor en la zona de la corona de la raíz. Si se comparan las células tumorales con las normales, se observa que se produce una transformación bioquímica, se sintetizan pequeños péptidos llamados opinas, además, el microorganismo usa estos péptidos como fuente de carbono, nitrógeno y de energía; la bacteria crea un nicho favorable en la planta y se produce una colonización genética.

Identificación del vector transformante

Se descubrió que un plásmido de gran tamaño, al cual se llamó Ti, era el responsable de inducir los tumores en las plantas, así como de sintetizar y metabolizar las opinas, y que se encuentra dentro de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* infectante.

La transformación genética no se hace de todo el plásmido sino que sólo se transfiere un trozo pequeño de 20 kilobases, al cual se le llama ADN T (transferente). El plásmido controla la transferencia de este trozo en algún locus (espacio vacío) de la célula eucariota y se incluye y expresa.

Uso del plásmido Ti como vector para la clonación y expresión de genes en las células vegetales

Dos propiedades hacen del plásmido Ti un vector ideal para introducir genes extraños en las plantas de cultivo y modificar sus características. En primer lugar, en la variedad de las plantas sensibles, el *Agrobacterium*, causa tumores en la mayoría de las dicotiledoneas y seguramente en las monocotiledo-

neas. En segundo lugar, el ADN T integrado se hereda según las leyes de Mendel y contiene promotores bajo los cuales se pueden insertar y expresar genes extraños.

La forma más sencilla para introducir el ADN T en las células vegetales es infectarlas con *A. tumefaciens* que contenga el plásmido Ti apropiado y dejar actuar a la naturaleza.

Es preciso insertar los genes deseados para mejorar las plantas en la región T del plásmido Ti, pero su gran tamaño dificulta la manipulación *in vitro*. Para resolver esta dificultad los científicos idearon la siguiente estrategia:

Se corta la región T de plásmido Ti con restrictasas y se inserta en uno de los vectores usuales, en *E. coli*. Se multiplica y se purifica el vector con ADN T. Se obtiene en *E. coli* gran cantidad de plásmidos quiméricos (plásmidos que portan el gen extraño) que contiene el ADN T y el gen exógeno y se introduce en la célula de la bacteria de *A. tumefaciens* que tenga el plásmido Ti completo.

El segmento T del plásmido quimérico, con el gen extraño, se transfiere por recombinación homóloga al plásmido Ti que desplaza al ADN T normal. Se obtienen así células de *A. tumefaciens* con un plásmido Ti cuya región T porta el gen extraño con el cual se desea mejorar la planta; finalmente se infectan plantas con estas bacterias alteradas.

Los tumores resultantes habrán sido producidos por el ADN T que porta el gen extraño, con lo cual se habrá conseguido el objetivo de introducir ese gen extraño en las células vegetales. En esta forma se pueden alterar las plantas de cultivo para que se produzcan las características deseadas, por ejemplo, resistencia a las enfermedades, a las malas condiciones climatológicas y mayor productividad de aminoácidos, etc. →

* Ingeniero de Bosques y Aguas E.S.B. Asesor Industrial de F.F. Wood Corporation, España.

Mejora y producción de nuevas plantas de cultivo adaptable a los suelos tropicales

Las técnicas de manipulación genética que acabamos de describir permiten introducir selectivamente genes en los protoplastos que contienen todo el programa genético de la planta y hacen posible la producción de nuevas especies vegetales cultivables a partir de materiales de construcción genética.

En estas condiciones, los científicos hablan ya de producir la planta de "cultivo ideal", adaptable a los suelos tropicales húmedos y de baja fertilidad, que adolecen de serias limitaciones para su empleo en la agricultura.

Esta nueva planta de cultivo sintetiza la materia comestible de tres a cinco veces más rápidamente que las plantas útiles más activas en este momento, en cuanto a la fotosíntesis. Sus proteínas contienen los aminoácidos esenciales para la nutrición humana; ella asimila el nitrógeno del aire, con lo cual la agricultura se independiza de los abonos químicos, costosos y contaminantes; almacena agua, está protegida contra la evaporación, puede prosperar en todo tipo de suelos y porta los genes que la hacen resistente a las enfermedades y al ataque de las plagas. La apariencia, sabor, olor, color y textura de los productos será idéntica a los que consumimos en la actualidad, con lo cual no se oponen a los arraigados hábitos alimenticios humanos.

Las posibilidades de Colombia

En la actualidad, las especies vegetales que tienen una importancia económica en el mercado mundial no pasan de treinta entre las cuales los cereales y las leguminosas ocupan un lugar destacado.

Se comprende entonces el interés por explorar especies distintas, en particular las procedentes de los climas tropicales, tanto por su efecto en la alimentación como por la posi-

bilidad de emplear sustancias que son sintetizadas por ellas.

Colombia, con extensas áreas de suelos en la Orinoquia y la Amazonia y en las vertientes Andinas, puede beneficiarse de esta tecnología convirtiendo al país en exportador de alimentos y de energía renovable y limpia producida por la biomasa, si sabe aprovechar esta oportunidad.

Pero no sólo la agricultura se beneficiará con la aplicación de esta tecnología, también la salud, con la fabricación de vacunas para el paludismo, el empleo racional de los recursos naturales, que serán la fuente de materia prima de la bioindustria, la producción de nuevas energías renovables y limpias, alcohol, biogás, hidrógeno, la lucha contra la contaminación ambiental y la extracción de minerales por medio de la bio-metalurgia.

Para poder utilizar las nuevas tecnologías en los diversos sectores de la economía nacional, el país debería elaborar un programa con el objeto de crear, en los años que restan para terminar el siglo, una capacidad tecnológica propia. La estrategia debería contener, entre otros, los siguientes elementos:

- Realizar reformas educativas que permitan ampliar y mejorar la infraestructura científico-tecnológica y crear, en el menor tiempo posible, una cultura tecnológica nacional mediante la difusión amplia de los conocimientos necesarios para poder asimilar y poner en práctica las nuevas tecnologías, gracias a un equipo de científicos y especialistas que hagan la transferencia.
- Poner en marcha una política industrial y tecnológica nacional, que determine prioridades claras y concretas y que proporcione el apoyo necesario a aquellos sectores productivos que están en mejores condiciones para competir en el mercado internacional, siguiendo el modelo aplicado en el Japón y en los países asiáticos semi-industrializados.

- Asumir una actitud diferente frente al proceso de aprendizaje tecnológico, que conduzca a que los objetivos de la política tecnológica se centren cada vez más en la disponibilidad, utilización y difusión de las tecnologías acordes con las necesidades más urgentes del país.

- Reorientar los planes de desarrollo nacional según las nuevas prioridades, dándole máxima atención a las actividades productivas en el sector agrícola, el industrial y de los recursos naturales renovables.

- Establecer cauces de cooperación científico tecnológica con todos los países Iberoamericanos, Estados Unidos, y naciones de la Comunidad Económica Europea, en los sectores de la agricultura, la producción de alimentos, las nuevas energías renovables, la salud y el medio ambiente, aprovechando los acuerdos de cooperación existentes y complementándolos con nuevos tratados.

- Reorganizar el *Programa Iberoamericano de Biotecnología* a fin de coordinar los quince laboratorios especializados que en esta materia existen. Como posibles actividades a realizar estarían las de poner a punto una "genoteca" y crear bancos de genes en los diferentes países, especialmente en los de la zona amazónica; crear una colección de cepas de microorganismos útiles para la biotecnología y la genética, de células vegetales y vectores de genes y la producción de enzimas de restricción.

- Organizar cursos especializados en el área de la biotecnología, coloquios, simposios, reuniones internacionales especializadas y buscar el intercambio de especialistas por medio de becas en los centros de investigación europeos y norteamericanos. Finalmente, conseguir con los organismos internacionales ayuda científica para proyectos específicos, sin descuidar la información. □