

## EDITORIAL :

# LA AGRICULTURA DEL PRÓXIMO MILENIO

Mayer J.<sup>1</sup>

Según la visión científica y empresarial, la era de los grandes desarrollos tecnológicos que estamos viviendo actualmente en el área de la electrónica y de las telecomunicaciones, será seguida por un apasionante desarrollo en el área de la biotecnología, la cual entra al Siglo XXI por la puerta grande. Después de algunas demoras como consecuencia de discusiones, más que todo de índole ético moral, arrancó hace ya algunos años la producción de moléculas de uso farmacéutico, derivadas de la ingeniería genética, algunas de las cuales son parte integral de la vida de millones de nuestros congéneres, tal como la insulina humana clonada en microorganismos. Los desarrollos biotecnológicos en las áreas de la medicina y la microbiología precedieron en algunos años a los desarrollos en el área vegetal, pero actualmente nos encontramos ante una explosión de esta nueva agricultura, la que trae una serie de desarrollos que revolucionarán nuestra percepción de una actividad que nos ha venido acompañando desde que nuestros ancestros dejaron de ser cazadores nómadas exclusivamente.

Aún muchos años después de las proyecciones de Malthus, era muy difícil adivinar cuál sería el desarrollo poblacional del mundo, ya que el incipiente crecimiento exponencial de la población podía dar lugar a proyecciones de amplia varianza. Hoy, en vísperas del año 2000, estamos llegando a los seis billones de seres humanos en este planeta. Las proyecciones futuras, hacia el año 2025, pueden fluctuar bastante aún, sin embargo podemos decir con seguridad que actualmente tenemos en la Tierra seis veces más seres humanos que en 1800, o alrededor de cuatro veces más que en 1900. Las consecuencias de la explosión demográfica han sido vistas en muchas de las predicciones de una manera catastrófica, sin embargo, a *grosso modo* se puede asegurar que el cataclismo nunca llegó, a excepción de regiones de la Tierra con situaciones extremas, como en la zona del Sahel, donde condiciones climáticas cambiantes llevaron a calamidades de dimensiones considerables, sin embargo de carácter local.

En el año 2025 podríamos tener 10 billones de personas en el mundo. Mucho dependerá de nuestra capacidad de mejorar el nivel educativo, social y económico de la población mundial, ya que estos factores tienen una incidencia reguladora considerable sobre la población de los países, cosa que fácilmente se puede comprobar comparando las curvas de crecimiento poblacional de distintos países con el PIB, como un posible parámetro indicador.

A través de la historia, qué ha impedido mayores desgracias en la alimentación mundial? En un comienzo fue el paso de una sociedad cazadora, colectora nómada, a una sociedad agrícola, cuando la competencia por los recursos se fue haciendo cada vez más dura. Más adelante fue la tecnificación de la agricultura, y ya entrado este siglo, la aplicación de agroquímicos para la solución de problemas relacionados con la intensificación de la agricultura, el manejo de pestes y enfermedades y la fertilización.

Con cada salto poblacional es necesario crear nuevos paradigmas. En los años 60 el paradigma fue la Revolución Verde, producto del mejoramiento tradicional, la cual gracias a variedades mejoradas de arroz logró evitar una mayor degradación del recurso natural en la India y en la China; en ambos casos se ha logrado mantener el área utilizada para este cultivo al mismo nivel que en 1960, cuando de acuerdo al

<sup>1</sup> Ph.D. Laboratorio de Bioquímica Molecular. Investigación AgroBiológicos. AgrEvo S.A.

aumento poblacional y utilizando las mismas variedades no mejoradas de entonces, hoy en día se necesitaría un área dos veces mayor en el caso de la India, y tres veces mayor en el caso de la China.

Nos hallamos pues, en lo que se llamaría un dilema, consistente en que debemos intensificar la agricultura, pero al mismo tiempo tenemos que velar por la conservación de los recursos naturales. La solución que buscamos se llama 'Agricultura Sostenible', que consiste en utilizar métodos de cultivo compatibles con el medio ambiente y aceptables económicamente. Además, en pos de un desarrollo sustentable, debemos limitar nuestra actividad agrícola a suelos capaces de mantener su productividad gracias a una combinación de sus características inherentes, ésto sumado al manejo integrado de cultivos.

Cuál será el nuevo paradigma que nos guiará a través de esta nueva fase que atraviesa la humanidad capaz de llevarnos a una agricultura sostenible? Comencemos por identificar las limitaciones de los cultivos actuales. La mayoría de nuestros cultivos rinde en promedio menos del 50% de su potencial genético debido a la falta de adaptación a estreses ambientales y bióticos. Cómo podemos explotar más eficientemente este potencial? Los agroquímicos pueden solucionar parte de los problemas relacionados a estos estreses. La Biotecnología Vegetal ofrece una nueva gama de soluciones a esta problemática. En la Cumbre de Río de Janeiro de 1992 sobre el Medio Ambiente, se concluyó que la Biotecnología Vegetal formaba parte integral de las herramientas esenciales para llegar a un Desarrollo Sustentable.

La Biotecnología Vegetal representa una nueva dimensión en el mejoramiento de cultivos, ya que permite la introducción de genes individuales en cultivares existentes, contrario al mejoramiento tradicional, en el cual se mezclan genomas completos, con el consecuente y árduo trabajo de eliminar una a una las características indeseables, resultantes del cruce, a través de varias generaciones. Es más, ya no hay límites para la procedencia de los genes que donarán novedosas características a los cultivos, cualquier organismo vivo puede convertirse en donante de genes, algo imposible en el mejoramiento tradicional.

La capacidad de introducir genes que confieren características novedosas en plantas data de hace unos 15 años. Una gran parte de los experimentos preliminares se llevaron a cabo con tabaco, pero rápidamente le siguieron cultivos más importantes, el tomate y la papa, otras dos solanáceas, que juntas suman el 22% de todos los ensayos de campo hechos con plantas transgénicas hasta la fecha. La transformación genética del maíz y otras monocotiledóneas tomó un tiempo adicional, sin embargo, por su importancia comercial, el solo maíz suma el 33% de los ensayos de campo. Otro cultivo sumamente importante por su producción de aceite a nivel comercial es la colza, con 21%. Le siguen la soya, con el 9%, el algodón, con el 7%, y la calabaza, con 3%. Se puede decir que 1997 ha sido el año en que las plantas transgénicas verdaderamente pasaron de ser objetos experimentales, a jugar un rol importante en la agricultura de los países desarrollados; en este año se sembraron 12 millones de hectáreas de plantas transgénicas en el mundo; su aceptación por los agricultores sobrepasó incluso las expectativas comerciales.

Cuáles son las características más comunes introducidas en plantas transgénicas? Si analizamos el consumo total de agroquímicos en los cultivos a nivel mundial, veremos que lideran los herbicidas, seguidos por los insecticidas. Esto se refleja en la elección de genes introducidos en cultivos comerciales; dominan genes de tolerancia a herbicidas, seguidos por genes de resistencia a insectos (ver artículo de Realpe y otros., este número). La introducción de genes de tolerancia a herbicidas ofrece la gran ventaja que, gracias a ellos, se pueden utilizar herbicidas que hasta ahora no eran selectivos, además de ser biodegradables y de baja toxicidad, permiten además el tratamiento posemergencia, reduciendo los problemas de erosión de suelos y, en muchos casos, reduciendo el volumen total aplicado, ya que no es necesario hacer aplicaciones preventivas, sólo se aplica en caso de necesidad.

La importancia que se prevé para la biotecnología en la agricultura mundial se refleja en las estrategias empresariales. Todas las grandes empresas constan hoy en día de tres áreas en términos generales, la de agroquímicos, la de semillas, y la de biotecnología. Las compañías que no poseían esta estructura anteriormente, lo hacen ahora como resultado de fusiones y compras estratégicas. En el área biotecnológica se lleva a cabo la investigación, la cual culmina con la planta transgénica, el área de semillas se encarga de producir y comercializar la semilla con valor agregado, mientras que el área de agroquímicos completa el paquete tecnológico, ofreciendo de esta manera soluciones integrales al agricultor.

La actuales tendencias del mercado se ven reflejadas en la siguiente tabla, que resume los principales desarrollos en el campo de cultivos transgénicos en los Estados Unidos. Esta tabla nos proporciona una idea de la situación actual y del cercano futuro en los países que se han embarcado en la biotecnología agrícola; se supone que no pasará mucho tiempo antes que esta herramienta y las consecuentes oportunidades en la agricultura sean un bien de todo el mundo, en beneficio de la salud y el medio ambiente (Schell y Mayer, 1987; Roca et al., 1992).

Producto	Compañía	Característica	Nombre Entrada al mercado
<b>Tomate</b>	Calgene	Maduración retardada	FlavrSavr 1994
	DNA Plant Technology	Maduración retardada	Endless Summer 1995
	Zeneca/ Peto Seed	Piel gruesa, contenido de pectina	1995
	Monsanto	Maduración retardada	1995
	Agritope	Maduración retardada	1996
<b>Algodón</b>	Monsanto	Resistencia a insectos (Bt)*	Bollgard 1995
	Monsanto	Tolerancia a glifosato	Roundup Ready 1996
	Calgene	Tolerancia a bromoxynil	BXN Cotton 1995
	DuPont	Tolerancia a sulfonilurea	1996
<b>Soya</b>	Monsanto	Tolerancia a glifosato	Roundup Ready 1995
	AgrEvo	Tolerancia a glufosinato	Liberty Link 1998
<b>Maíz</b>	Novartis	Resistencia a insectos (Bt)*	Maximizer 1995
	DeKalb	Tolerancia a glufosinato	1996
	AgrEvo	Tolerancia a glufosinato	Liberty Link 1996
	PGS – AgrEvo	Androesterilidad	1996
	Monsanto	Resistencia a insectos (Bt)*	YieldGard 1996
	Northrup King	Resistencia a insectos (Bt)*	1996
<b>Colza</b>	Calgene	Composición del aceite	Laurical 1995
<b>Papa</b>	Monsanto	Resistencia a insectos (Bt)*	New Leaf 1995
<b>Calabaza</b>	Asgrow	Resistencia a virus	Freedom II 1995
<b>Papaya</b>	Cornell/ Assn.	Hawaiian Growers Resistencia a virus	

\**BACILLUS THURINGIENSIS*

Cuáles son las proyecciones de la Biotecnología Agrícola para el comienzo del nuevo milenio? Actualmente la mayoría de plantas transgénicas poseen características agronómicas alteradas para satisfacer las necesidades en la producción del cultivo, tales como tolerancia a herbicidas o resistencia a insectos. Las siguientes características que se modificarán están relacionadas con tolerancia a estrés hídrico y de temperatura. En el caso de los tomates con maduración retardada podemos reconocer otra tendencia importante, la modificación con el fin de facilitar el procesamiento de alimentos, cambios de textura, patrón de maduración, composición del almidón o de la fibra entre otros. En menos de diez años se espera estar produciendo cultivos con valor agregado, gracias a la producción de fármacos y moléculas de alto valor comercial, estaríamos entonces utilizando la energía solar para la producción de moléculas altamente complejas.

La Biotecnología Agrícola está irrumpiendo en todos los ámbitos de la agricultura. Las herramientas que nos ofrece la biotecnología van más allá de las solas plantas transgénicas. Un ejemplo es la selección asistida por marcadores moleculares, que revolucionará el mejoramiento de variedades. El proceso de selección de características agronómicas normalmente exige la observación en campo de las progenies derivadas de los cruces sexuales. Se hace difícil, por ejemplo, seleccionar plantas con genes de resistencia a un patógeno que no se encuentre en el país o más difícil aún, la selección de características multigénicas. Una vez que se han identificado los marcadores moleculares correspondientes - segmentos de ADN en la cercanía de los genes de interés - el trabajo se limita a constatar la presencia de éstos, de este modo uno puede, por ejemplo, hacer un seguimiento de genes recesivos a ciegas o trabajar hacia la piramidación de genes de resistencia de manera dirigida.

Para facilitar nuestro trabajo, podemos valernos de un método simple basado en la tasa de evolución de las especies vegetales. Sabemos que el orden y la estructura de los genes sólo se pierde lentamente a través del tiempo. Gracias a esto podemos utilizar información adquirida de plantas modelo, como *Arabidopsis thaliana*, una planta de la misma familia que la colza, pero con un genoma entre 20 y 400 veces más pequeño que la mayoría de nuestros cultivos. A pesar de esto, *A. thaliana* tiene obviamente la información necesaria para germinar, crecer, producir hojas, florecer, producir polen y semillas. Utilizando técnicas de mapeo comparativo podemos localizar los genes análogos en genomas más complejos. En el mundo se han invertido grandes esfuerzos en obtener las secuencias completas de algunos organismos modelo, entre ellos las bacterias *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis*, el nemátodo *Xenorhabditis elegans*, la brasicéa *Arabidopsis thaliana*, el arroz, y el mismo ser humano, además de una serie de virus. La secuenciación de los genomas del ser humano y del arroz son todavía proyectos en curso, lo que sin embargo ya ha proporcionado cantidades inmensurables de datos útiles para fines médicos o de mejoramiento vegetal.

*Et tu Colombia, quo vadis?* La micropropagación de cultivos es desde ya hace varios años una técnica estándar en la industria de flores o en la multiplicación de material de siembra de banano certificado. Hay algunos pocos núcleos investigativos donde se trabaja en transformación genética, como el CIAT en Cali, donde se ha venido trabajando en transformación de arroz, plantas forrajeras, yuca y frijol, la Universidad Nacional, donde se trabaja con papa y cítricos, o Cenicafé, donde se viene trabajando en la transformación del café, para nombrar algunos ejemplos.

Una de las funciones de la Revista Colombiana de Biotecnología es la de ofrecer a estos y otros grupos un medio de articulación y comunicación para potenciar su capacidad a través del intercambio de conocimiento. En cada número de esta revista queremos darle énfasis a las distintas áreas de la biotecnología, esa vez le tocó al área agrícola, tanto por el alto porcentaje de investigadores dedicados a esta faceta de la biotecnología, como por el rol vital que juega la agricultura en el país.

**Schell J y Mayer JE** (1987) Chances and risks of biotechnology for the agricultural production in the tropics and subtropics. En, Natural Resources and Development (Ernst W, Hohnholz JH, Bittner A, Jacob KH y von Wahl S, eds) Hauser Verlag, Metzingen, RFA.

**Roca WM, Angel F, Sarria R, Mayer JE, Tohme J, Mejía A, Mafla G** (1992) Future initiatives in biotechnology research for tropical agriculture: the case of cassava. En, Advances in Gene Technology: Feeding the World in the 21st Century. The 1992 Miami Biotechnology Winter Symposium. Miami, USA; IRL Press at Oxford University Press, p 87