

**NACIONES UNIDAS**

**COMISION ECONOMICA  
PARA AMERICA LATINA  
Y EL CARIBE - CEPAL**



Distr.  
LIMITADA

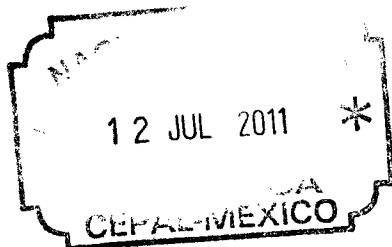
LC/MEX/L.77 (SEM.22/2)  
10 de marzo de 1988

ORIGINAL: ESPAÑOL

---

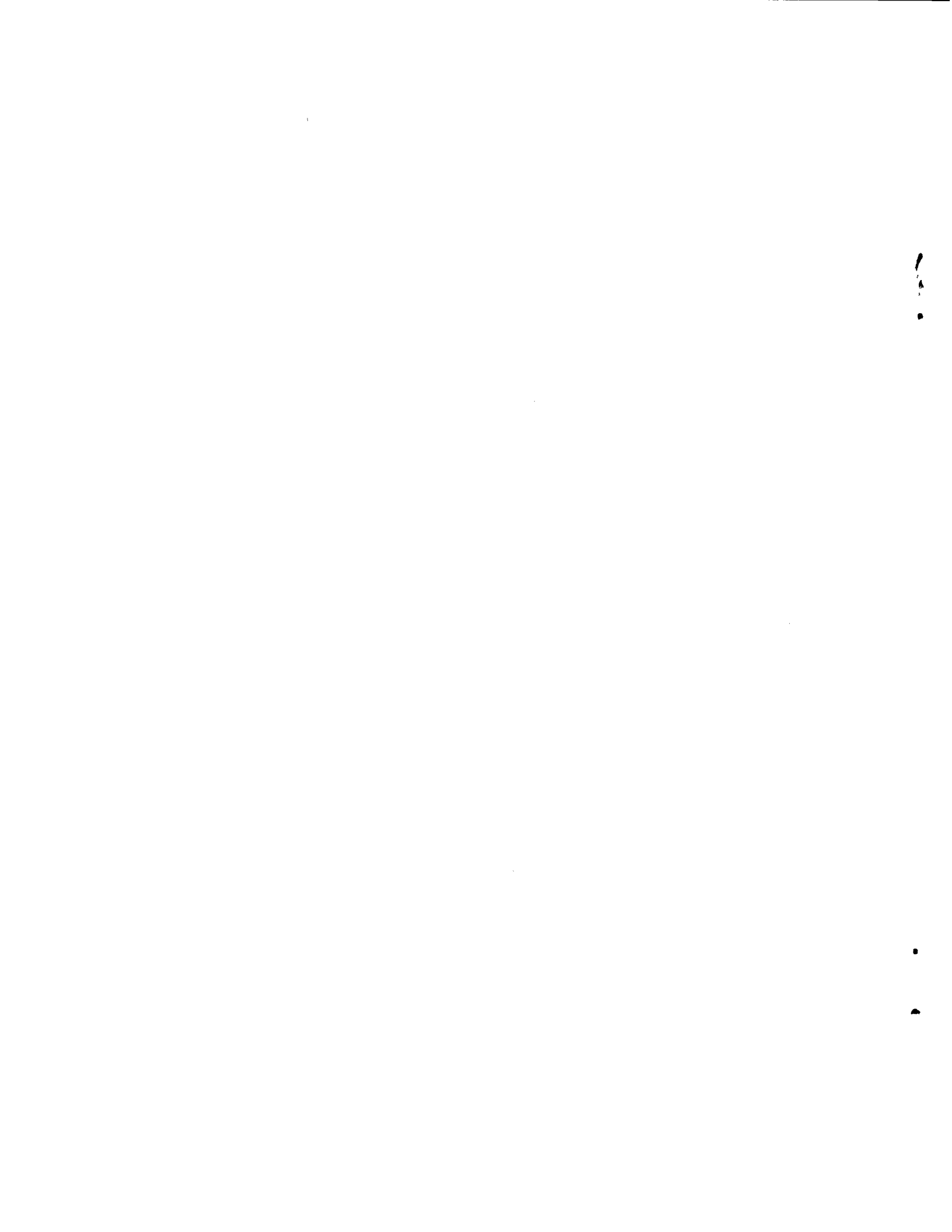
Reunión sobre Biotecnología y Desarrollo  
Agroalimentario en México

México, D.F. 25 de marzo de 1988



**DESARROLLO BIOTECNOLOGICO EN LA PRODUCCION AGROALIMENTARIA  
DE MEXICO: ORIENTACIONES DE POLITICA**

Este documento fue preparado por los señores Gonzalo Arroyo y Mario Waissbluth, consultores del Programa de Seguridad Alimentaria dentro del Convenio de Colaboración entre la Secretaría de Programación y Presupuesto y la Subsección de la CEPAL en México. Las opiniones en él expresadas son de la exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.



## INDICE

	<u>Página</u>
I. Introducción	1
II. Avances recientes de la biotecnología a nivel internacional con especial referencia a la agricultura y producción alimentaria	10
1. Biotecnología agropecuaria y forestal: Aspectos generales	10
2. Avances recientes de la biotecnología agrícola: Algunos ejemplos	12
3. Avances recientes de la biotecnología pecuaria: Algunos ejemplos	15
4. Avances recientes en la biotecnología forestal: Algunos ejemplos	18
5. Avances recientes en la industria de alimentos	18
6. Cifras recientes sobre investigación y desarrollo, y sobre volúmenes de producción de biotecnología en los Estados Unidos	19
7. La participación de empresas en el desarrollo de la biotecnología	20
8. Patentes, regulaciones y políticas gubernamentales	22
9. Mantenimiento y control del germoplasma	24
10. El desarrollo de nuevos herbicidas	25
11. Los nuevos pesticidas y el control de plagas y enfermedades	27
12. Impactos de la nueva tecnología sobre la agricultura	28
13. América Latina: Panorama general de la investigación y producción biotecnológica	31
14. Problemas de la difusión de tecnología en América Latina	32

	<u>Página</u>
<b>III. Diagnóstico del potencial científico-tecnológico de México: El caso de la biotecnología</b>	<b>35</b>
1. La metodología utilizada en la evaluación de la biotecnología en México	35
2. Las instituciones de investigación y de producción de biotecnología vegetal en México	36
a) Unidades de investigación en biotecnología vegetal	37
b) Biotecnología vegetal: Areas de trabajo en México	40
c) Investigaciones actuales sobre micropropagación y preservación de germoplasma de plantas	41
d) Investigaciones para el mejoramiento genético de plantas mediante biotécnicas: Especies trabajadas en el país	44
e) Biotecnología vegetal: Aplicaciones industriales	47
f) Principales investigaciones básicas en biotecnología vegetal	47
3. Las unidades de investigación y de producción de biotecnología ganadera en México	49
a) Proyectos sobre transferencia de embriones	49
b) Proyectos sobre hormonas de crecimiento para el ganado	51
<b>IV. La investigación y producción de biotecnología relacionada con la agroindustria alimentaria (y no alimentaria) de México</b>	<b>52</b>
<b>V. La situación agrícola y agroindustrial en México. Avances en la utilización de la biotecnología</b>	<b>54</b>
1. Autosuficiencia y soberanía alimentarias	54
2. ¿Qué aportes debería ofrecer la biotecnología a una nueva estrategia de desarrollo agrícola y alimentario?	56

	<u>Página</u>
VI. Agentes internos y externos de difusión y transferencia de tecnología	61
1. Agentes difusores de tecnología en México	62
a) La SARH, el INIFAP y el BANRURAL	62
b) Los compradores agroindustriales	66
c) Las agrupaciones de productores y la transferencia de tecnología	67
d) Los proveedores de insumos como agentes de difusión	67
e) Agentes de difusión en el sector pecuario	67
f) Revistas de información técnica	68
2. La difusión tecnológica a los productores agrícolas	68
VII. Instrumentos de política tecnológica en México	71
1. El sistema nacional de ciencia y tecnología	71
2. La planeación de la ciencia y la tecnología en México	72
3. Recursos humanos para la ciencia y la tecnología	73
4. Tecnología en la industria	74
5. Gasto en investigación y financiamiento para el desarrollo tecnológico	75
6. Articulación del sistema de ciencia y tecnología con otros instrumentos del gobierno federal	77
7. La transferencia de tecnología	77
8. Servicios de apoyo al desarrollo tecnológico	78

VIII. Conclusiones y recomendaciones	81
1. Premisas básicas	81
2. Recomendaciones para una planeación estratégica: Fuerzas, debilidades, amenazas y oportunidades	84
a) Las fuerzas	84
b) Las debilidades	84
c) Las amenazas	86
d) Las oportunidades	87
3. Opciones existentes y prioridades recomendadas en el desarrollo de la biotecnología	88
4. Instrumentos de política	89
a) Planeación	89
b) Financiamiento	90
c) Educación	91
d) Descentralización de la investigación y extensión	91
e) Creación de empresas clave	91
f) Patentes	92
g) Regulaciones	93
<u>Cuadros estadísticos e información general</u>	95
<u>Bibliografía</u>	113

## I. INTRODUCCION

El presente informe tiene como objetivo analizar los cambios que a raíz del desarrollo reciente de la biotecnología está sufriendo en el plano mundial la agricultura y la producción de alimentos. Más precisamente, su objetivo es analizar la forma en que estos cambios pueden afectar en los próximos años a la agricultura mexicana y, sobre todo, fijar prioridades para poner en obra una política biotecnológica capaz de aprovechar las nuevas tecnologías útiles en el mejoramiento de la producción nacional y consumo de alimentos y de rechazar otras cuya adopción sería menos beneficiosa para el país.

Conviene señalar que los cambios experimentados en los últimos 10 o 15 años por la agricultura y la agroindustria de los países industrializados —y específicamente la agroindustria alimentaria— se producen en un período de crisis económica internacional que, desde 1973 y 1979, años correspondientes a los dos "shocks petroleros", pone término al ciclo de alto crecimiento económico que desde los años cincuenta caracterizaba al capitalismo mundial. Desde entonces, las economías desarrolladas han estado sometidas a episodios de recesión e inflación, a un aumento estructural del desempleo y a políticas correctivas gubernamentales orientadas, por una parte, a controlar la inflación y, por otra, a reestructurar la economía y en particular el sector industrial, considerado en gran medida obsoleto y de baja rentabilidad. Este proceso de reestructuración se da en momentos de débil crecimiento de la demanda, y de ruda y a veces desleal competencia económica entre naciones industrializadas y empresas transnacionales de las mismas.

Por otra parte, la falta de dinamismo del sector productivo va acompañada, desde fines de los años setenta, de un auge del sector financiero. La falta de oportunidades de inversión en una industria en crisis crea excedentes de liquidez que se vuelcan hacia actividades especulativas. La banca transnacional colocó una parte de ellos en países como los nuestros, cuya deuda externa creció considerablemente, y más aún, después de que algunas políticas de restricción monetaria —para combatir la inflación— fueron aplicadas desde comienzos de los años ochenta por los grandes países industrializados, y las tasas de interés alcanzaron niveles

estratosféricos. Pero esto no sólo bloquea todo crecimiento a los países endeudados del Tercer Mundo, sino que agudiza aún más la crisis de la industria en los países desarrollados, que pierde así mercados en el mundo en desarrollo. El decrecimiento del comercio mundial acelera sin duda el proceso de reestructuración industrial.

El actual proceso de reconversión de la agricultura y de la agroindustria se da por consiguiente dentro del horizonte descrito de lento crecimiento económico. Esto motiva a las firmas transnacionales, líderes en el campo de la producción de insumos agrícolas y de alimentos, a adaptar su estrategia: se pasa de un proceso de acumulación extensiva, en el que el énfasis se pone en la baja del costo unitario del producto mediante una producción en gran escala, a otro llamado de acumulación intensiva, en el que se busca sobre todo reducir los costos de producción y aumentar la ganancia por unidad producida, aunque su realización se dé en mercados más restringidos. (90, pág. 5) 1/

Es decir, que se opera una reestructuración de la producción mediante la introducción de nuevas tecnologías. No se trata ya de innovaciones —relativamente menores— utilizadas en el período de acumulación extensiva, como son por ejemplo las que dan lugar a la diferenciación de productos por marcas comerciales en el campo de los insumos agrícolas y de los alimentos; se trata ahora de nuevas técnicas, entre ellas la biotecnología que, como se verá, revolucionan la producción y modifican el sistema de precios relativos hasta entonces imperante.

Se ha demostrado que el sector agroalimentario resiste mejor que otros la crisis económica que se manifiesta abiertamente desde 1974 (4, págs. 29-31 y 90, pág. 7). No sólo se trata de tasas de ganancia que aunque moderadas se mantienen relativamente estables, a un nivel superior al promedio, en contraste con otras ramas industriales que en los períodos de recesión registran índices cercanos a cero o aun negativos, sino que además su participación en el comercio internacional (22%) tiende más bien a subir en los años de caída de las exportaciones (90).

Por otro lado, este sector continúa recibiendo inversiones directas, aunque las de origen transnacional provienen cada vez más de otras ramas y en particular de empresas químicas y farmacéuticas, como se verá más adelante.

---

1/ Véase la bibliografía al final del documento.



Las ganancias que perciben estas empresas reflejan bien un nuevo paso adelante del capital transnacional que, como en los años de posguerra, se apoderó de la agricultura, sometiéndola dentro de la cadena agroindustrial (4, cap. 2); se apodera ahora de las agroindustrias alimentarias que son a su vez "programadas" por los consorcios polivalentes transnacionales, fabricantes sobre todo de componentes artificiales como son los aditivos y de otros insumos. (90, pág. 23)

Veamos primeramente cuáles son estas técnicas controladas por los países industrializados que dan lugar a una nueva forma de producir alimentos. La biotecnología resulta de la aplicación agrícola e industrial de los progresos recientes de la ingeniería genética, y más ampliamente de todos los procesos industriales que utilizan como materia prima la biomasa (es decir, toda materia orgánica que crece por conversión de fotosíntesis de la energía solar). Esta permite, gracias a la aplicación integrada de conocimientos y de las técnicas de la bioquímica, la microbiología, la genética y de la ingeniería química, sacar provecho en el plano tecnológico de las propiedades y capacidades de microorganismos y del cultivo de tejidos vegetales.

El inicio de la nueva biotecnología data de 1953, cuando Watson y Crick establecen el modelo de la doble hélice como estructura del ADN (un polímero no proteico), cuyas porciones son los genes y en los cuales está inscrito el patrimonio genético de las sustancias vivas. En 1966 se establece el código genético completo inscrito en el ADN y se aíslan enzimas ligasas capaces de unir cadenas de ADN o cromosomas, y luego cortar moléculas de ADN en sitios específicos para lograr transferir o clonar ciertos genes en cualquier bacteria. En 1977 se crea la primera industria de ingeniería genética (Genentech) y ya en 1983 aparece en el mercado el primer producto, es decir, la insulina humana fabricada por bacterias a las que se les ha clonado el gene humano de la insulina. Como dice un especialista, el hombre se asemeja hoy a Prometeo pues todo da a pensar que los genes considerados benéficos pueden o podrán ser transferidos de una planta a otra, de un animal a otro, o de una planta a un animal, o viceversa (17, págs. 14-19).

Sin embargo, la ingeniería genética se ha centrado sobre todo, hasta ahora, en el tratamiento de bacterias y levaduras y en experimentos con animales. La rentabilidad económica orienta la investigación hacia la medicina humana, de tal modo que muchos genes humanos (y animales) han sido identificados y pueden ser reconstituidos en laboratorios, gracias a aparatos

sintetizadores de genes, automatizados y computarizados. Esto se da menos con las plantas, cuyas centenas de miles de especies, cada una con decenas de miles de genes, deben ser aún identificadas genéticamente por la biología molecular. Precisamente, los primeros avances cualitativos en el caso de las plantas han sido el resultado de técnicas de cultivo de tejidos y de fusión de células vegetales (y animales), mismas que no requieren previamente la identificación y desciframiento de los genes específicos pero, que de hacerse, serían fuertemente potenciadas con ello (27, 61 y 86).

El cultivo de tejidos se realiza en laboratorios relativamente poco costosos bajo condiciones de esterilidad y de adecuado control. El proceso de regeneración de plantas a partir de tejidos o fragmentos de ellas (estacas, raíces, botones, etc.) fue utilizado desde hace tiempo en la reproducción de plantas como la vid. Pero en los años cuarenta se logra en laboratorio la micropropagación asexual, en un medio nutriente adecuado de zanahorias y tabaco; más tarde, hacia fines de los años cincuenta, se obtienen plantas, mediante el cultivo *in vitro* de células de tabaco, con características distintas —en el crecimiento de las raíces o de brotes—, según fuesen las dosis utilizadas de nutrientes (17).

Estos dos descubrimientos fueron pioneros en el florecimiento de técnicas de micropropagación o propagación clonal en laboratorio de plantas libres de virus y genéticamente idénticas con base en el cultivo de meristemas, células somáticas, embriones, anteras y fusión de protoplasmas. Algunas de estas técnicas, que como se verá más adelante requieren la manipulación genética, son por lo tanto más difíciles de aplicar y más costosas; esto no debe oscurecer el hecho de que el cultivo *in vitro* de tejidos, órganos o células de una sola planta madre de alto potencial productivo, permite reproducir masivamente plantas mejoradas en forma mucho más rápida que en las prácticas convencionales de reproducción por semillas. Actualmente, el cultivo de tejido es factible en el caso de unas 3,000 especies, y tiene mayor valor comercial en el caso de hortalizas y de plantas frutales, ornamentales y forestales, es decir, en general de aquellas plantas que se reproducen difícil y lentamente vía semillas.

Los progresos espectaculares de la ingeniería genética capaz potencialmente (después de la identificación del ADN y de la separación de genes específicos y su clonaje en otros organismos vivos) de recombinaciones genéticas para obtener mejores variedades, razas y aun nuevas especies

vegetales y animales, unidos a las técnicas mencionadas de cultivo de tejidos en laboratorios, y sobre todo al aprovechamiento de la variación somaclonal de las plantas producidas a partir de un solo tejido cultivado, permiten avisorar saltos cualitativos en la producción agrícola y pecuaria. Los rendimientos en granos, oleaginosas y otras variedades agrícolas podrán aumentar así varias veces y el cultivo de tejidos permite reducir además el tiempo de reproducción de plantas frutales, forestales y ornamentales de mejor calidad. Así lo han comprendido las empresas privadas que desarrollan programas dinámicos de investigación en el campo de las semillas.

Hay que mencionar además los progresos en la industria de alimentos. Los avances recientes más significativos son los siguientes: la ingeniería de fermentación y la ingeniería enzimática, que aumentan su productividad y bajan los costos de producción y el consumo de energía gracias al uso de nuevas cepas de bacterias y otros microorganismos, y de biorreactores en continuo. Se registra también un avance considerable de la industria farmacéutica cuya fabricación de hormonas de crecimiento, anticuerpos monoclonales y en métodos de diagnóstico tienen aplicaciones significativas en la medicina y la alimentación animal (27, 52 y 61).

La carrera de la biotecnología está sin duda desatada entre los grandes consorcios económicos, a menudo con el apoyo de los gobiernos de los países industrializados. La lucha no se da sólo en el campo técnico, económico y político sino también en el jurídico: el objetivo es lograr patentar los genes, batalla que se está ganando en los Estados Unidos (51, págs. 89 y 249-252). ¿Cómo afectan estos cambios tecnológicos a la agricultura que ya se había modernizado bajo la influencia de la llamada Revolución Verde de los años cincuenta?

Se ha producido adicionalmente una tendencia a deprimir los precios de las materias primas, ya sea debido a los aumentos de productividad que llevan a crear excedentes, o porque las materias primas agrícolas son sustituidas por nuevos alimentos. Además, se han reducido drásticamente los ingresos de los agricultores, sobre todo los más pequeños, de los Estados Unidos --y también aunque en menor medida los de la CEE-- que se han beneficiado con subsidios del Estado hoy más difíciles de mantener, debido tanto a las políticas de austeridad y de recortes presupuestarios, como también a las doctrinas neoliberales contrarias a toda restricción de las fuerzas del mercado.

Los principales beneficiarios de la modernización de la agricultura traída en los años cincuenta por la llamada Revolución Verde, han sido las grandes firmas productoras de insumos para la agricultura y las comercializadoras a nivel mundial de granos y otras materias primas --sobre todo las firmas de cereales-- y las empresas fabricantes de productos alimenticios y de alimentos diferenciados bajo marca comercial y publicitados en los mercados urbanos de buena parte del globo. Estos alimentos de alto valor agregado no están al alcance del bolsillo de la población de escasos recursos en los países en desarrollo y, por lo demás, en ciertos casos tienen escaso valor nutritivo con relación a sus precios (4, cap. 5).

Todo lo anterior ha contribuido a un cambio en la división internacional en lo que respecta a la agricultura y a los alimentos: los países desarrollados como los Estados Unidos, Canadá, Australia y ciertos países de la CEE, se han transformado así no sólo en exportadores netos de cereales sino además de carne, leche y aun de azúcar (8 y 26); no hay que olvidar lo que es principal en esta transformación, o sea, la dependencia de la agricultura y de la industria agroalimentaria en los países industrializados, y también en los en desarrollo, del "paquete tecnológico", transferido por las grandes sociedades transnacionales. Esto conduce ya, desde los años setenta, a una autosuficiencia alimentaria creciente de los primeros, mientras que una parte importante de los países en desarrollo, entre los cuales varios de América Latina han perdido o están en vías de perder la autosuficiencia en lo que respecta a alimentos básicos (4, 9, 46 y 69).

Por lo demás, se da allí una clara polarización entre agricultura y agroindustrias modernas, y agricultura campesina y agroindustrias tradicionales; las primeras gozan de cierto dinamismo económico en la medida en que están orientadas a la producción industrial y a la exportación, mientras que las segundas, centradas en la producción de granos y alimentos básicos, están claramente estancadas. Es decir, una característica del sistema alimentario mexicano es su heterogeneidad estructural ahondada en la medida en que las políticas de crédito, de subsidios y de inversiones en infraestructura han favorecido más al sector moderno que al campesino tradicional.

Con la introducción de la biotecnología, esta situación puede agravarse, no sólo en la medida en que el sector campesino continúe estancado, sino aun afectando al sector moderno y exportador. En efecto, los países

industrializados que carecen de ciertos productos tropicales, como la sacarosa, café, cacao, etc. y otras materias primas hasta ahora importadas de los países en desarrollo, podrán echar mano a la biotecnología y sustituirlos por productos fabricados con materias primas (agrícolas o no) abundantes en casa. Como se verá más adelante, esto es ya una realidad para el azúcar de sacarosa cuya sustitución por isoglucosas de maíz, y más recientemente aspartamo, alcanza alrededor de un 50% del mercado estadounidense de edulcorantes (5, cap. 1).

Por lo demás, es indudable que la utilización agrícola e industrial de las biotécnicas está sucediendo en los países industrializados donde surgió la biotecnología. La necesidad de analizar en este marco la revolución biotecnológica parte de la visión teórica de que el desarrollo de la tecnología se produce en condiciones económicas y sociales concretas y por lo tanto tiende a ser funcional a las sociedades en donde surge.

Indudablemente esto, que es cierto en el caso de los países generadores de tecnología, no lo es en general para los países adoptadores o compradores de tecnología. Al incorporar tecnologías en condiciones sociales y económicas diferentes de aquéllas en que éstas históricamente han surgido --puesto que no corresponden a la disponibilidad de recursos naturales y humanos existentes en los países que las adoptan--, sucede a menudo que la transferencia no contribuye a satisfacer las necesidades sociales de las naciones que las adquieren. Más aún, pueden provocar efectos desestructurantes en las economías subdesarrolladas, y por lo tanto el balance final de su transferencia puede ser negativo.

El fenómeno ya señalado de la heterogeneidad estructural de la agricultura y de la agroindustria mexicanas está ligado a la Revolución Verde y a la expansión de las empresas agroalimentarias y de insumos agrícolas, que llegaron a partir de los años sesenta y setenta. Estas, en lugar de atenuar o disminuir esta heterogeneidad, la profundizaron ciertamente mediante la aplicación de sus diversos paquetes tecnológicos. Convendría preguntarse si la introducción de la biotecnología no producirá efectos semejantes o peores. El cuadro 1 <sup>2/</sup> trae una comparación entre los impactos de ambas revoluciones y muestra el impacto más universal que tendrá la segunda, y su apropiación privada por parte de grandes firmas que intentan patentar no sólo nuevas

---

<sup>2/</sup> Los cuadros estadísticos y de información general aparecen al final del documento.

variedades y productos, sino aun los genes identificados y clonados en seres vivos.

La introducción de la biotecnología, desde la perspectiva de los intereses del país, es un elemento que cada día se vuelve más determinante. Su no incorporación, en cualquier visión estratégica alternativa, implicaría estar diseñando planteamientos sin perspectivas reales. Esto significaría dificultar seriamente cualquier tentativa orientada a eliminar, por una parte, la subutilización y, por otra, la sobreexplotación simultánea que el modelo económico actual hace de los recursos humanos y naturales. Esto implicaría además no poder transformar la ineficiencia económica del actual desarrollo --y sus secuelas de marginalidad social, desnutrición y aun hambre para sectores importantes de la población-- en una dinámica de eficiencia, productividad y racionalidad económica y social.

El no aceptar el reto de la biotecnología sería en la práctica rechazar la posibilidad de conseguir una reinserción de las economías regionales en la economía mundial, a partir no sólo de las dinámicas inherentes al capitalismo industrializado, sino también de los objetivos propios de las sociedades regionales. Se trata, al contrario, de intentar generar estructuras económicas con un grado importante de articulación técnica, en función de los recursos y excedentes propios de la región, y de su dinamización en términos especialmente del mercado interno regional. Esto no quiere decir que se niegue la importancia del mercado internacional que está actualmente sometido a transformaciones profundas, sobre todo en lo que respecta a los productos tradicionales de exportación.

Ellos tratan de introducir nuevas tecnologías para asegurar la eficiencia y competitividad a nivel internacional de los productos y servicios ofrecidos. Estas tecnologías de punta son la microelectrónica, la biotecnología, la telemática, la robótica, los nuevos materiales, etc. A este informe interesa, particularmente, la biotecnología que tiene importancia, y que ciertamente tendrá más en el futuro, para el desarrollo agropecuario, forestal y alimentario.

Este es el principal tema de la segunda parte de este documento en el que se hará una revisión de la evolución reciente de la biotecnología a nivel mundial y del estado actual de la misma en México. Se analizarán, asimismo, los agentes internos y externos de difusión y transferencia de biotecnología y, finalmente, los instrumentos de política tecnológica y productiva

existentes en el país, ahora más dependiente del exterior. Se explorarán además los impactos positivos y negativos que su introducción en la región podría causar sobre el sistema alimentario y la agroexportación.

Por último, se presenta en la tercera parte una discusión sobre una planeación estratégica de política biotecnológica para el país, tomando en cuenta las fuerzas, debilidades, amenazas y oportunidades para llevarla a cabo. Se enumerarán, así, las opciones actuales existentes y se determinarán prioridades en la implementación de la política. Finalmente, se hará un análisis de los instrumentos y mecanismos necesarios para aplicar dicha política.

## II. AVANCES RECIENTES DE LA BIOTECNOLOGIA A NIVEL INTERNACIONAL CON ESPECIAL REFERENCIA A LA AGRICULTURA Y PRODUCCION ALIMENTARIA

### 1. Biotecnología agropecuaria y forestal: Aspectos generales

Una revisión de las tendencias recientes en la biotecnología agropecuaria y forestal arroja una primera conclusión sorprendente: las referencias bibliográficas anteriores a 1984 pueden considerarse prácticamente obsoletas, dada la velocidad con que están ocurriendo los descubrimientos y, en particular, la introducción de nuevos productos al mercado.

Se pueden distinguir en este terreno 13 funciones diferentes de la biotecnología (7, 13 y 87):

- Aumento de la biomasa vegetal y la productividad animal
- Propagar clonalmente diversas variedades
- Aumentar la variabilidad genética
- Aumentar la velocidad de cambios genéticos
- Resistencia a enfermedades
- Identificación de microorganismos nocivos
- Aumentar tolerancia a sequía, salinidad y condiciones adversas
- Fijar nitrógeno
- Inducir la producción de híbridos
- Preservar germoplasma y material genético
- Desarrollar vacunas y otros productos veterinarios
- Determinar el sexo en animales
- Mayor cantidad y calidad de proteínas u otros nutrientes

Para captar cabalmente el potencial de aplicación de la biotecnología, es fundamental entender que estos objetivos pueden perseguirse a nivel de todo el organismo (planta o animal), como sucede en la investigación agropecuaria convencional, a nivel de la célula, y a nivel de la molécula. Estos tres niveles tienen su papel ahora, y lo seguirán teniendo en el futuro. Como ejemplo, la Universidad de Guelph (49), utilizando recientemente técnicas clásicas, ha producido semillas de colza para aceite resistentes al herbicida atrazine, y ya hay más de un millón de acres plantados con esta nueva variedad, sin haberse utilizado para nada la ingeniería genética.



El cuadro a continuación muestra las 12 tecnologías que, según la Oficina de Predicción Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos, alterarán radicalmente la producción pecuaria en los próximos 20 años (51).

Tecnologías pecuarias emergentes

Ingeniería Genética Animal	Medio Ambiente y Conducta Animal
Reproducción Animal	Manejo de Residuos y Esquilmos
Regulación del Crecimiento	Monitoreo y Control de Animales
Nutrición Animal	Administración de Información
Control de Enfermedades	Telecomunicaciones
Control de Plagas	Ahorro de Mano de Obra

El siguiente cuadro muestra el desarrollo análogo de tecnologías agrícolas:

Tecnologías agrícolas emergentes

Ingeniería Genética de Plantas	Erosión, Labranza y Productividad
Aumento de Eficiencia Fotosintética	Cultivos Múltiples y Orgánicos
Reguladores del Crecimiento	Monitoreo y Control de Plantas
Control de Enfermedades	Combustibles y Motores
Control de Plagas y Hierbas	Manejo de la Tierra
Fertilización y Fijación de Nitrógeno	Tratamiento Post-Cosecha
Relación Suelo-Agua-Planta	

Lo que se desprende claramente de estos dos cuadros, es que la biotecnología será parte de un complejo interdisciplinario de modernización agropecuaria, que incluirá la agronomía tradicional, la informática, la ingeniería agrícola y mecánica y el extensionismo. En otras palabras, la biotecnología agropecuaria, sobre todo en los países desarrollados, es un complemento novedoso a la modernización y a la mecanización del sector. A menos que se tomen medidas que modifiquen radicalmente esta situación, la biotecnología se va a introducir en el sector rural por los canales de comercialización y difusión previamente existentes. Es entonces particularmente relevante, al iniciar un trabajo de esta naturaleza, citar a A. de Janvry (47), cuando dice que "...la biotecnología, como un technofix, no va a resolver los problemas sociales de la agricultura latinoamericana; de hecho, a menos que se dedique un considerable esfuerzo a mitigar su impacto,

va a profundizar las desigualdades, fluyendo hacia aquellos que pueden darse el lujo de adoptarla".

La tendencia de corto plazo de la estructura productiva existente pareciera ser el aumento en las ventas de paquetes integrados de material genético y químico. Así serían, en el caso agrícola, las semillas y los herbicidas, o en el caso pecuario, las líneas raciales y sus productos veterinarios. En el largo plazo, el objetivo parecería ser la virtual desaparición de la agricultura, para convertirla en un proceso casi industrial, independiente de las veleidades del tiempo, las plagas, y la mano de obra rural (39).

Con esta introducción, que pudiera servir como una advertencia previa para el resto del documento, procederemos a continuación a dar algunos ejemplos de los sorprendentes avances registrados recientemente en el sector agrícola, pecuario y forestal.

## 2. Avances recientes de la biotecnología agrícola: Algunos ejemplos

Se entiende por micropropagación de plantas la reproducción vegetativa de las mismas mediante el cultivo de tejidos y la fusión de células in vitro. Esto permite la producción masiva y rápida de plantas genéticamente idénticas (clones) y libres de virus. Esto es particularmente útil en el caso de especies que no se reproducen fácil o rápidamente por semillas. El proceso de regeneración de plantas se practica a partir de tejidos, órganos o células (corteza, raíces, hojas meristemos, anteras, etc.) en un medio nutricional adecuado. Se incluye aquí, además, la preservación de germoplasma in vitro, que sustituye al almacenamiento de semillas que en ciertos casos es de difícil aplicación, por ejemplo plantas con semillas recalcitrantes o especies que se propagan vegetativamente. Una característica común a este tipo de reproducción asexual de plantas es que no requiere de una previa identificación y desciframiento de los genes, es decir, que no acude a técnicas más complejas de variación genética y de manipulación de genes.

En contraste con la micropropagación, el mejoramiento genético de plantas utiliza una serie de técnicas para producir variedades y especies genéticamente modificadas. Las principales técnicas son: a) la variación somaclonal o mutagénesis (que se produce a veces, en función de los medios de cultivos, en células provenientes de un mismo tejido); b) la selección in vitro de células con ciertas características deseadas y transmisibles a las

plantas regeneradas a partir de las mismas, permite acortar los plazos de programas tradicionales de fitomejoramiento en campos experimentales; c) el cultivo in vitro de anteras, u órganos sexuales masculinos, que permite regenerar plantas haploides (sólo contienen (n) cromosomas, es decir, la mitad de los de la planta madre que tiene (2n)); esto permite obtener en forma más rápida que en el fitomejoramiento tradicional plantas homocigotas para líneas puras utilizadas en la producción de semillas híbridas, por ejemplo, de arroz; d) el rescate de embriones no plenamente desarrollados que resultan de "cruzamientos amplios" (entre plantas de distintas especies) y que, mediante el cultivo in vitro, pueden regenerarse, logrando así la introducción de material genético extraño a las especies en experimentación; e) la fusión de protoplastos (células cuya pared celulósica ha sido diluida por vía enzimática) lo que permite obtener híbridos entre especies diferentes y, finalmente, f) la utilización de la ingeniería genética y del ADN-recombinante, que resultan de la aplicación de la biología molecular y permiten la introducción de genes específicos previamente identificados (resistencia a la sequía, alcalinidad y a plagas, rendimiento, tamaño, etc.) que modifican el genoma de las plantas y permiten un mejoramiento genético mucho más drástico. Pero el ADNr requiere del cultivo de tejidos y particularmente de la fusión de protoplastos para regenerar las nuevas plantas. Es la técnica más sofisticada de la nueva biotecnología pero supone un desarrollo considerable de investigaciones básicas en el campo de la biología molecular, la fisiología, la bioquímica y la genética de plantas superiores.

El Presidente de la Sociedad Americana de Agronomía, en un discurso de 1984, ha afirmado que "la biotecnología de plantas será la fuerza unificadora de la agronomía más grande que ha ocurrido desde la fundación de la Sociedad en 1907". Si bien esta afirmación no puede considerarse todavía como una realidad, los siguientes ejemplos de aplicación de la biotecnología son ilustrativos de cómo la promesa se va materializando. En el año 2000 se prevé un mercado de 30,000 millones de dólares en insumos agrícolas producidos con biotecnología.

a) Hay una decisión pendiente en la Environmental Protection Agency para probar en campo semillas resistentes a mosaico de tabaco (54).

b) Un mayor control de semillas y procedimientos de cultivo inducirá aumentos de 20% a 30% en la productividad por hectárea, de aquí al año 2000 en los países industrializados (54).

c) El biorregulador DCPTA permite aumentar 35% el rendimiento por hectárea, 68% el contenido de proteína y 20% de grasa en cultivos de soya. Aumenta en 80% el rendimiento de algodón y 100% el contenido de hule en el guayule (49).

d) El aditivo químico "Ethrel", de Amchem Products, madura todos los tomates simultáneamente y facilita la mecanización de la cosecha. (49)

e) Agrigenetics ganó una patente de proceso para usar técnicas de clonación en semillas mejoradas (13).

f) El proceso de cultivo de células en el fermentador más grande del mundo, a escala de 20,000 litros, se dio en el Japón para células de tabaco (3).

g) Existen ya variedades de arroz y tomate que crecen en suelos salinos. Una variedad de cebada puede crecer en agua de mar diluida a la mitad (36).

h) En Calgene se está trabajando en la producción de tomates con mayor contenido de sólidos, y en la alteración genética de la composición química de aceites baratos como el de soya, para poder sustituir el aceite de jojoba o la manteca de cacao, que tienen un precio 5 a 10 veces mayor (53).

i) Plant Genetics mantiene un programa de multiplicación y mejoramiento de papas, con vistas a aumentar el contenido de sólidos y la resistencia a enfermedades. Aspiran a manejar el mercado de semillas de papa en forma similar al de los híbridos de maíz (53).

j) Se está produciendo una cada vez mayor mecanización y automatización de la agricultura, basada en máquinas "inteligentes". Esto incluye sobre todo los métodos de cosecha, y la irrigación y fertilización basada en redes de sensores y computadores. Uno de los objetivos básicos es el ahorro de agua, limitando así el "lavado" de fertilizantes y agroquímicos (7, 70).

k) En mayo de 1987 se probaron plantaciones de papas inoculadas con una variedad de la bacteria "Pseudomonas" alterada genéticamente para inhibir la formación de escarcha (84).

l) DNA Plant Technology firmó un contrato con Campbell Soup para desarrollar tomates con mayor textura. Formó un joint venture con Koppers Co. para desarrollar kits diagnósticos de enfermedades de plantas, y con la

empresa suiza Firmenich para desarrollar sabores y fragancias por cultivo de células (44).

m) MicroGeneSys está vendiendo insecticidas virales, basados en el "Baculovirus", que atacan a orugas. Se requieren tan sólo algunos gramos por hectárea. Varios insecticidas virales están en etapa de prueba (82).

Puede observarse que esta revisión de literatura, a partir de 1985, deja fuera la fijación de nitrógeno. De hecho, parecería existir consenso en que, por su complejidad, ésta es una meta que está a 20 o 40 años de distancia (64).

### 3. Avances recientes de la biotecnología pecuaria: Algunos ejemplos

Desde el descubrimiento y desarrollo de la técnica del ADNr se han multiplicado las investigaciones, así como su utilización, particularmente en el campo de la ganadería mayor y menor. Esto es más cierto en el caso de productos farmacéuticos y de medicina humana y veterinaria. El prototipo de los nuevos medicamentos es la insulina producida mediante la transferencia del gene humano al ADN de una bacteria que recibe instrucciones del primero para fabricar la misma. Las moléculas de ADNr pueden insertarse ya a varias bacterias, levaduras y células animales, que al reproducirse fabrican proteínas muy beneficiosas como son la misma insulina, las hormonas de crecimiento, la prolactina, la proloxina, los toxoides, algunas vacunas proteicas, interferones y otros inmunizantes y nutrientes, como los aminoácidos y proteínas unicelulares para alimento de ganado. La tecnología del ADNr es utilizada también en el diagnóstico de envenamientos de origen bacteriano en alimentos y de enfermedades genéticas e infecciosas (61, pág. 34).

Otra veta de producción comercial en los países desarrollados son los anticuerpos, es decir, proteínas producidas por reacción a sustancias extrañas en el cuerpo como son los virus y las bacterias, los que son así inactivados. La sangre animal era la fuente principal de los anticuerpos utilizados como inmunizantes en la medicina, pero el suero sanguíneo contiene cientos de éstos y por lo tanto la producción de anticuerpos específicos era limitada. La biotecnología permite actualmente la producción masiva de éstos mediante la técnica de los anticuerpos monoclonales. Esta utiliza mielomas (células cancerosas productoras de anticuerpos) que son fusionadas con otras productoras de un anticuerpo específico. El resultado de la fusión es un

hibridoma que fabrica, indefinidamente en principio, gran cantidad de anticuerpos idénticos (y por lo tanto monoclonales) en forma pura y concentrada. De este modo, se producen hoy anticuerpos capaces de combatir los principales virus, bacterias, hongos y parásitos infecciosos, así como de diagnosticar la presencia de los mismos en los fluidos corporales. Entre los muchos usos importantes de los anticuerpos monoclonales, conviene recordar aquellos aplicables a la ganadería: purificación de proteínas obtenidas con el ADNr; inmunización de terneros contra ciertas pestes; sustitución de vacunas, antitoxinas y antidotos contra venenos convencionales; determinación del sexo de embriones de ganado; diagnóstico post-coital de contracepción y preñez; tratamiento de células cancerígenas; diagnóstico de los niveles de presencia de hormonas y drogas; prevención del rechazo de transplantes de órganos, y detección de venenos en los alimentos (61, págs. 35 y 36).

Una técnica utilizada en la reproducción de ganado es la transferencia de embriones. Esto permite mejorar rápidamente la calidad del hato, sobre todo vacuno, y elevar la productividad en términos de carne y leche. Hasta hace poco, la inseminación artificial era la técnica más avanzada: con sólo un reproductor se podía fecundar hasta 100,000 vacas por año. Desde los años setenta se comienza a introducir la transferencia de embriones de vacas "super-ovuladas", es decir, que han recibido drogas capaces de aumentar la ovulación. Las vacas son fecundadas artificialmente y los embriones resultantes son extraídos de manera no quirúrgica (por succión). Antes de implantar los embriones en vacas nodrizas, éstos pueden seleccionarse para el sexo masculino (preferentemente para ganado de carne) o el femenino (para ganado lechero) mediante el empleo de anticuerpos monoclonales; pueden ser divididos para obtener mellizos, fusionados con embriones de otras especies animales y, finalmente, congelados en nitrógeno líquido hasta que se produzca el estro de las vacas nodrizas o "portadoras" en las cuales se va a implantar el germen fecundado. De este modo, una vaca genéticamente superior podrá producir 50 a 60 crías por año y paradójicamente sin dar a luz a ninguna. Es decir, que no sólo como antes un toro de calidad superior puede producir 100,000 terneros, sino además estos terneros del mismo padre tendrían sólo 2,000 vacas madres de calidad superior. Esto reduce considerablemente los plazos de crianza y selección de animales: en sólo un ciclo se puede realzar significativamente la productividad del hato. Hasta aquí el desarrollo logrado en los Estados Unidos (74).

En términos generales, en el corto plazo, las biotecnologías animales están más avanzadas y más cerca del mercado que las biotecnologías agrícolas. Esto se debe, fundamentalmente, a que el origen científico de esta disciplina proviene del sector de investigación en salud humana. Ya hay cerca de 450 compañías en el mundo dedicadas al desarrollo de productos pecuarios con base en biotecnología (37). La investigación se está enfocando fundamentalmente a: a) métodos diagnósticos; b) vacunas producidas por ingeniería genética; c) hormonas de crecimiento que aumentan la producción de leche, disminuyen la grasa en puercos y hacen crecer más rápido a los pollos, y d) hormonas de fertilidad y técnicas de manipulación de embriones. Como ejemplos, están los siguientes:

- Integrated Genetics ya produce hormonas para controlar la ovulación (54).
- Genentech y Monsanto anunciaron en 1981 la clonación del gene para la hormona de crecimiento. Esta hormona ya está en fase de aprobación para la venta (47 y 54). Puede aumentar la producción de leche en 25%, supliendo así todo el déficit lácteo de América Latina.
- Molecular Genetics y Eastman Kodak trabajan en el desarrollo de una vacuna contra la mastitis de las vacas (54).
- Usando la técnica de transferencia de embriones, una vaca genéticamente superior puede dar a luz 50 o 60 crías al año, lo cual hace posible mejorar hatos ganaderos en un solo ciclo. Esto se facilita sincronizando con hormonas el período de calor en las vacas "portadoras" (7). Integrated Genetics aspira a un mercado mundial de 200 millones de dólares para la hormona que induce la superovulación en vacas seleccionadas.
- Japón realiza investigaciones en hormona de crecimiento de peces para acuicultura (53).
- Las vacunas contra fiebre aftosa y pseudorabia, producidas por ingeniería genética, ya están en el mercado (47 y 64).
- Idetek, Agritech Systems y Difco R & D Center están comercializando una prueba sanguínea para triquinosis. Agritech está comercializando más de 20 sistemas diagnósticos (37).
- Varias compañías están actualmente probando hormonas de crecimiento para pollo, que permiten reducir la maduración de 8 a 6 semanas, reduciendo costos en 25%. Monsanto está aplicando la misma técnica en cerdos, para obtener animales con menos grasa, y que crezcan más rápido (37).

- Immuno Modulator Labs está comercializando interferón en Texas, para el tratamiento de Shipping fever, una enfermedad viral fatal para el ganado (37).

#### 4. Avances recientes en la biotecnología forestal: Algunos ejemplos

Uno de los campos en que la biotecnología puede desarrollar técnicas de gran utilidad es el forestal. Esto debido a que los ciclos de reproducción de las principales especies forestales demandan muchos años hasta que la planta alcance su maduración. La reproducción monoclonal asexual (mediante el cultivo de fragmentos o cortezas de plantas) reduce notablemente los ciclos de reproducción de la planta libres de virus y enfermedades y, además, permite seleccionar, a partir de los mejores ejemplares en un bosque o plantación, plantas que aumentan tres o cuatro veces su rendimiento en madera o en frutos. Algunos ejemplos de los últimos avances son:

a) Forgene Rhinelander es una empresa de Wisconsin dedicada únicamente a la biotecnología forestal. Producirá variedades de coníferas resistentes a las heladas. Calgene trabaja en la resistencia de álamos al herbicida glifosato (54), y

b) La manipulación genética y silvicultural de plantaciones de abetos y pinos han aumentado su productividad respectiva en forma espectacular: 70% y 300%, si se le compara con bosques naturales (87).

#### 5. Avances recientes en la industria de alimentos

Las biotécnicas de fermentación utilizan bacterias, virus, hongos filamentosos, levaduras y algas unicelulares. Estos microorganismos poseen una velocidad metabólica muy alta debido a que su dimensión microscópica ofrece una superficie de contacto considerable con el producto tratado. La productividad es de este modo aumentada muchas veces: una res de 500 kg puede producir 1/2 kg de proteínas en 24 horas, mientras que 500 kg de microorganismos cultivados en fermentación pueden rendir de 5 a 50 toneladas en el mismo lapso. Los avances se basan en gran medida en la producción por manipulación genética, de cepas bacterianas útiles para la producción de alimentos, fármacos y otros productos. La utilización industrial de estas cepas facilita la producción de moléculas, sobre la base de estos mutantes bacterianos, como por ejemplo el ácido glutámico o la lisina antes extraída de materias primas mediante costosos procedimientos. Las fermentaciones



microbianas (cuyo substrato biológico es la glucosa, el almidón, diversas biomásas de carácter celulósico, etc.) tienen además la ventaja de ahorrar notablemente energía, pues la fermentación usa a menudo procedimientos suaves, sin exigir altas temperaturas como en fermentaciones tradicionales. La eficiencia de las fermentaciones aumenta considerablemente con el progreso de la ingeniería enzimática. Las enzimas, moléculas "activas" de los microorganismos, son utilizadas para facilitar reacciones químicas puesto que cada enzima tiene un poder catalizador específico. La enzima no sufre ningún cambio en la reacción química que cataliza y es por lo tanto reutilizada en el proceso productivo. Sin embargo, al emplearla industrialmente, su extracción de la solución, después de la reacción, resulta costosa. La fijación en un soporte mecánico permite conservarla y hacer circular "en continuo" la solución a través de las enzimas inmobilizadas; es la técnica de los biorreactores en continuo que se utiliza ya en la industria.

Algunos ejemplos recientes de aplicaciones a la industria de alimentos:

- Integrated Genetics desarrolló un test basado en hibridación de DNA, para la detección de salmonela en alimentos en menos de 4 horas (54).
- DNA Plant Technology firmó un acuerdo con Kraft Foods para producir "Vegi Snax", que son snacks de zanahorias y apio producidos directamente por cultivo vegetal (54). Esto sería lo más cercano a la "fabricación" de vegetales reportado hasta ahora en la literatura.

#### 6. Cifras recientes sobre investigación y desarrollo, y sobre volúmenes de producción de biotecnología en los Estados Unidos

Los gastos de investigación y desarrollo en esta materia han crecido de una manera sorprendente en los países industrializados y particularmente en los Estados Unidos.

Para dar una idea de la envergadura de este fenómeno, es pertinente aportar algunas cifras acerca de los gastos en investigación y los volúmenes de mercado previstos:

- El mercado de biotecnología veterinaria se prevé que pasará de 50 a 430 millones de dólares en los Estados Unidos, de 1985 a 1990 (54).
- El gasto federal de los Estados Unidos en investigación biotecnológica en 1984 fue de 650 millones de dólares, de los cuales 39 millones fueron al Departamento de Agricultura. Esta cifra subió a 700 millones en 1986 (54).

- Los mercados potenciales previstos para la biotecnología en el mundo en el año 2000 son (7):

	<u>Millones de dólares</u>
Agrícola	30,000
Química	10,000
Medicina	5,000
Aditivos de alimentos	2,000
Veterinario	1,000
Acuicultura	500
<u>Total conservador</u>	<u>50,000</u>
<u>Total optimista</u>	<u>100,000</u>

- Otras predicciones le dan un peso preponderante al sector farmacéutico en los Estados Unidos, para el mismo año 2000 (25):

	<u>Millones de dólares</u>
Farmacia	15,000
Agricultura	5,000
Química	3,000
Alimentos	2,000
Otros	300
<u>Total</u>	<u>25,300</u>

#### 7. La participación de empresas en el desarrollo de la biotecnología

Las firmas semilleras especializadas en maíz, como son Pioneer Hi-Bred y Dekalb, compiten creando variedades nuevas: la última ofrecía en 1981 un catálogo de variedades de las que un 40% no estaban disponibles tres años antes (24). La ingeniería genética es esencial en el campo de las semillas y así lo han comprendido grandes empresas químicas (Du Pont, Monsanto, Ciba Geigy, etc.), petroquímicas (Royal Dutch/Shell) y farmacéuticas (Sandoz, Upjohn, Pfizer, Bayer) que penetran con fuerza en el mercado de las semillas y algunas de ellas han montado laboratorios de biotecnología con inversiones considerables (Monsanto, Ciba Geigy) (6 y 46).

Como puede observarse de los ejemplos citados anteriormente, el papel que están jugando las grandes empresas multinacionales, particularmente del sector químico y energético, y las pequeñas empresas privadas de alta tecnología es fundamental. Este es un fenómeno nuevo, ya que en el pasado la tecnificación agrícola se debió preponderantemente a organismos

gubernamentales. Como ejemplo, podemos dar los gastos en investigación biotecnológica de 1985 de algunas grandes compañías químicas y de semillas mejoradas (54).

	<u>Millones de dólares</u>
Dekalb Agresearch	24
Pioneer Hi-Bred	33
Monsanto	148
Monsanto (un nuevo centro)	150
Du Pont	260
Du Pont (un nuevo centro)	85

Estos gastos superan con creces los del Departamento de Agricultura en Investigación Biotecnológica. Asimismo, podemos mencionar la reciente creación de un consorcio de 42 compañías alimentarias japonesas para realizar investigación en esta área (53). Sin embargo, cabe hacer notar que, incluso en los países industrializados, las nuevas empresas tecnológicas no siempre han reportado ganancias, y menos aún por la venta de productos biotecnológicos. (Véase el cuadro 2.)

Como puede observarse en el cuadro, la mayor parte de los ingresos de estas compañías no se debe a la venta de productos, sino a la obtención de contratos de investigación con grandes empresas, sustituyendo así de facto parte de la capacidad de investigación de las universidades. Sin embargo, la cooperación de las empresas con las universidades también ha comenzado a darse en este rubro. Como ejemplo, en 1986 se creó el "Midwest Plant Biotechnology Consortium" uniendo los esfuerzos de 14 universidades y 31 empresas (54), y Monsanto firmó recientemente un acuerdo de 23.5 millones de dólares con la Universidad de Washington (49).

El ambiente favorable de cooperación universidad-industria se refleja en el hecho de que una encuesta a 1,200 profesores en 40 universidades en los Estados Unidos reveló que los investigadores biotecnológicos con contratos industriales publican más artículos, patentan más frecuentemente, participan en más actividades administrativas y profesionales y ganan más que sus colegas sin apoyo industrial (13). El cuadro 3 indica, en este terreno, los distintos énfasis temáticos y sectoriales que tienen las empresas de biotecnología agropecuaria en los Estados Unidos (47).

Cabe destacar que, en el caso de otros países de la OCDE, y contrariamente a lo que ha ocurrido en los Estados Unidos, el Estado ha

tomado parte en el proceso de creación de empresas biotecnológicas: Celltech en Inglaterra, Transgen en Francia y Allelix en Canadá (47).

#### 8. Patentes, regulaciones y políticas gubernamentales

El tema del patentamiento biotecnológico adquirió gran relevancia y se convirtió en fuente de controversia, a partir de cuatro decisiones de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos (39 y 83):

- En 1970, la "Plant Varietal Protection Act" permitió patentar las variedades de planta de raza pura, pero no los híbridos.
- El patentamiento de bacterias modificadas genéticamente se autorizó en 1980.
- Declarar, como patentables, a todo tipo de plantas a partir de agosto de 1985.
- En su decisión más crítica, en abril de 1987 se autorizó el patentamiento de organismos multicelulares de carácter animal que no existen previamente en forma natural.

Es fundamental, en un análisis de este tipo, distinguir las patentes de proceso de las de producto, pues las últimas confieren una protección mucho más fuerte. En efecto, éstas permiten patentar el producto de una actividad biotecnológica, no solamente el proceso para su obtención, que siempre es susceptible de modificaciones o mejoras. Por ejemplo, la Universidad de Stanford ha licenciado a 73 empresas, con 10,000 dólares cada una, el proceso de DNA recombinante. Sin embargo, ahora en conjunto con UCLA, está solicitando una patente de producto que cubra los plásmidos, puesto que con ella sería mucho más fácil vigilar su infringingimiento (13).

Es indudable que esto ha llevado a los países desarrollados a impulsar la investigación privada en esta materia, y a fortalecer la propiedad monopólica de la tecnología agropecuaria, favoreciendo así el proceso de concentración en grandes productores de bienes y/o tecnología. Esto, sin embargo, no ha estado exento de controversia. Las opiniones van desde los que piensan que la protección legal es todavía inadecuada, y que en consecuencia sigue siendo el mayor obstáculo al desarrollo biotecnológico, hasta los que estiman que esto es irrelevante, ya que la secrecía y la comercialización agresiva serían la clave del éxito económico (50). Otros han expresado su preocupación porque el patentamiento pudiera orientar la investigación hacia los éxitos fáciles de corto plazo, descuidando así

objetivos de largo plazo en el terreno de la ecología y la productividad balanceada (31).

En el caso mexicano, la nueva ley de enero de 1987 no permitió el patentamiento de plantas, animales, ni los alimentos de uso humano. Sin embargo, permite la concesión de patentes, a partir de 1997, de:

- Procesos biotecnológicos de toda índole;
- Procesos genéticos para obtener especies vegetales o animales;
- Productos químicos y farmacéuticos;
- Alimentos para animales, y
- Fertilizantes, agroquímicos y productos con actividad biológica.

La ley también autorizó, a partir de 1987, el patentamiento (en lugar de certificado de invención) para los procesos de obtención de aleaciones y procesos no biotecnológicos de obtención de sustancias químicas, farmacéuticas, alimento animal y agroquímicos.

Las consecuencias más directas de este cambio serán para los fabricantes nacionales de medicamentos y agroquímicos, que se verán impedidos de fabricar (sin licencia) los nuevos insumos que se descubran internacionalmente. En el terreno propiamente biotecnológico, el impacto será algo menor, por cuanto es más difícil vigilar las patentes de proceso. Sin embargo, ya que este cambio de la ley obedeció, en parte, a fuertes presiones de los Estados Unidos, todo hace prever que esta presión continuará aplicándose para imponer el patentamiento de variedades de plantas y animales.

Debe destacarse que la nueva ley mantuvo en vigencia el artículo 41, que establece que "el otorgamiento de la patente implica la obligación de explotarla en territorio nacional. La explotación deberá iniciarse dentro de un plazo de tres años contados desde la fecha de expedición de la patente". Esto continuará impidiendo a las empresas extranjeras patentar en México con el único propósito de prohibir la comercialización de sus tecnologías.

En el terreno regulatorio, la situación en los Estados Unidos es muy compleja y burocrática, reflejándose así la novedad y confusión que imperan. En junio de 1986 se estableció que:

- El Departamento de Agricultura (USDA) es responsable por las bacterias inoculadas en plantas o animales;
- La Administración de Alimentos y Drogas (FDA) es responsable por los microorganismos alterados genéticamente en alimentos y drogas;

- El Instituto Nacional de Salud (NIH) es responsable por microorganismos alterados genéticamente que puedan afectar la salud pública;
- La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) es responsable por microorganismos que puedan afectar la seguridad laboral.
- La Agencia de Protección Ambiental (EPA) es responsable por los microorganismos liberados en el ambiente para efectos de protección contra plagas y contaminación.

Como puede observarse, existe una severa duplicación de funciones. Es probable que en el futuro esto se altere, dejándose una lección interesante para los países que aún no han establecido un sistema regulatorio de la actividad biotecnológica.

La mayor parte de los países industrializados ha comenzado ya a definir políticas y planes nacionales para el desarrollo de la biotecnología. Una revisión reciente (81) de políticas de los Estados Unidos, Japón, Gran Bretaña, Francia, República Federal Alemana y Holanda muestra algunas características comunes: fuerte soporte a la investigación básica, énfasis creciente en la investigación aplicada, un nuevo énfasis en la vinculación academia-industria (51), un papel creciente del sector productivo en la toma de decisiones, un énfasis en los grandes proyectos colaborativos, medidas financieras para apoyar el desarrollo de firmas pequeñas y de mercados de capital de riesgo, y una tendencia reciente a no ser tan restrictivos en las medidas regulatorias para la salud y el ambiente.

#### 9. Mantenimiento y control del germoplasma

Otro tema al que la nueva biotecnología ha convertido en cuestión de controversia se refiere al mantenimiento y la vulnerabilidad del germoplasma animal y vegetal. Las nuevas variedades mejoradas tienden a sustituir la gran diversidad de variedades nativas, lo cual puede por un lado provocar la extinción de ciertos materiales genéticos, y por el otro, dada la gran uniformidad de la explotación productiva, puede acrecentar la vulnerabilidad de las nuevas variedades a las plagas. Esto no es una simple amenaza potencial. De hecho, la falta de diversidad genética en el cultivo del arroz ya produjo en Filipinas, Tailandia y la India un círculo vicioso de pestes, incremento en el uso de pesticidas, aparición de nuevas plagas resistentes a pesticidas y contaminación ambiental (64). Un fenómeno similar virtualmente

devastó el cultivo de algodón en Centroamérica y causó serios daños en México (31).

Como de costumbre, son los países desarrollados los que llevan la delantera para enfrentar este problema. Para combatir los problemas de la falta de diversidad genética, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos está desarrollando el depósito más grande de germoplasma en el mundo. Como ejemplo, la Pioneer Hi-Bred donó 1.5 millones de dólares a esta agencia para realizar una recolección de maíces silvestres en América Latina (54 y 85).

También es interesante hacer notar que en 1985 México propuso la creación de un fondo internacional para la conservación de recursos genéticos, con la oposición de los representantes de los Estados Unidos, quienes adujeron la existencia de sus propias colecciones (54 y 85).

Esta es claramente una área de acción urgente para América Latina. La paradoja pudiera ser que, con el germoplasma de la región, se desarrollen nuevas variedades que permitan a empresas foráneas controlar la agricultura latinoamericana e incluso causar serios daños a cultivos ya existentes. Por ejemplo, la "steviosida", originaria de América del Sur, puede constituir un nuevo edulcorante (54), que reemplace aún más la ya vapuleada caña de azúcar. ¿Quién obtendrá los beneficios de este germoplasma?

#### 10. El desarrollo de nuevos herbicidas

La biotecnología, en especial el cultivo de tejidos, permite analizar miles de células vegetales en una placa, para seleccionar aquellas resistentes a los herbicidas, y propagarlas posteriormente.

Esto se combina con el reciente desarrollo de nuevos y potentes herbicidas: el glifosato de Monsanto, las sulfonilureas de Du Pont, y las imidazolinonas de American Cyanamid. Estos son herbicidas dos o tres veces menos tóxicos para el ser humano, y que además requieren ser aplicados en cantidades 5 a 20 veces menores que los herbicidas tradicionales. Pero son de amplio espectro, lo cual significa que también dañan los cultivos (10). En respuesta, ya hay más de 20 empresas que hoy investigan el desarrollo de nuevas plantas resistentes a herbicidas, lo cual facilita enormemente su cultivo..., desplazando la mano de obra requerida para el deshierbe tradicional:

- Ciba-Geigy ya vende semillas cubiertas con "Concep", un antídoto contra herbicidas (10).

- Como ya se mencionó, existen variedades de colza resistentes a la atrazina (49).

- Calgene es la compañía que tiene más cercana la aprobación de variedades de tomate, tabaco y álamos resistentes a herbicidas (10).

Este tema ha despertado una verdadera tormenta de controversias. La estrategia de los fabricantes de agroquímicos ha sido, por supuesto, aumentar y ampliar el uso de los herbicidas, vendiéndose en paquetes integrados con las semillas resistentes a los mismos. El negocio es enorme: tan sólo Monsanto vende anualmente un billón de dólares de herbicidas. Otro aspecto del negocio consiste en que ya se están desarrollando más de 20 herbicidas "post-emergentes", diseñados para eliminar hierbas después del brote del cultivo. También cabe notar que es una ruta corta y rápida para mostrarle a los inversionistas el "éxito" de las nuevas biotecnologías (49).

Los oponentes a esta estrategia arguyen, razonablemente, que la biotecnología se debería más bien utilizar para aumentar la alelopatía natural de los cultivos, es decir, la habilidad de algunas plantas para inhibir el crecimiento de otras emitiendo sustancias químicas naturales. La biotecnología también permitiría diseñar variedades orientadas a cultivos más orgánicos, basados en el diseño de estrategias de control de hierbas por rotación de cultivos, práctica muy difícil cuando se utilizan herbicidas (64).

En suma, el dilema está en una biotecnología que tienda a aumentar o a disminuir el consumo de herbicidas, de los cuales al menos 15 han sido recientemente detectados en aguas superficiales y subterráneas en los Estados Unidos. Esto sin contar con que, al igual que sucede con los pesticidas, pueden aparecer nuevas hierbas resistentes a herbicidas, y plantas resistentes a herbicidas, pero muy vulnerables a las plagas.

Los defensores de los herbicidas, entre los que se cuenta Charles Benbrook, director ejecutivo del Consejo de Agricultura en el National Research Council (10), dicen que: a) hay pocos ejemplos en que las hierbas adquieran resistencia a herbicidas; b) si hubieran nuevas plantas resistentes a herbicidas pero vulnerables a pestes, no se comercializarían; c) hay poca probabilidad de que las nuevas variedades cambien la base genética de los cultivos tradicionales, y d) los nuevos herbicidas son menos



tóxicos para los humanos. Todo hace pensar que son los fabricantes de agroquímicos los que llevan las de ganar en esta controversia.

#### 11. Los nuevos pesticidas y el control de plagas y enfermedades

Una controversia similar, aunque tal vez más manejable, se está dando en torno a si la biotecnología provocará un aumento o una disminución en el consumo de pesticidas. Esto ha llevado incluso a la publicación del "Journal of Pesticide Reform", de la Northwest Coalition for Alternatives to Pesticides. El problema fundamental consiste en que la intensificación de la producción agrícola con base en monocultivos aumenta el ambiente para el desarrollo de parásitos y, a su vez, el desarrollo de parásitos reduce la capacidad de los campesinos para el desarrollo de sistemas de cultivo más intensivos (75). De hecho, se ha estimado que los cultivos propagados por clonación podrían sufrir hasta seis veces las pérdidas por plagas, ocasionando así un aumento en el consumo de pesticidas (63). De 1970 a 1980, el número de artrópodos resistentes a pesticidas aumentó de 224 a 428 (31).

Una respuesta positiva al problema la han dado algunas compañías biotecnológicas, que han intentado desarrollar pesticidas "naturales":

- MicroGeneSys está desarrollando y vendiendo insecticidas virales, de los cuales se requieren unos pocos gramos por hectárea. Un ejemplo es el "Baculovirus", que ataca a las orugas, aunque su aceptación en el mercado todavía es lenta (82).

- Monsanto ha solicitado permiso para probar en campo una bacteria "Pseudomonas" modificada genéticamente, que produce una toxina que ataca gusanos (64).

En el largo plazo, las respuestas parecerían basarse en dos enfoques, tanto en los países industrializados como en los subdesarrollados. El primero es el control biológico de plagas (31). Es interesante anotar que, hasta la fecha, se han reportado 327 casos de introducción de enemigos naturales que han combatido exitosamente la aparición de plagas en cultivos comerciales. El segundo, más general y más potente, es el desarrollo de una capacidad para el manejo integral de pestes (Integrated Pest Management, IPM), es decir, la combinación juiciosa, caso a caso, de sustancias químicas, enemigos naturales, microorganismos y la plantación de mezclas genéticamente similares pero diferentes en su resistencia a las plagas. Como ejemplo, la EPA, USDA y NSF han financiado un consorcio de 17 universidades para el

manejo del IPM en los Estados Unidos. Se ha estimado que el costo/beneficio del IPM pueda ser de 100 a 1, comparado con 4 a 1 en el caso de pesticidas químicos (31).

En el largo plazo, la importancia de desarrollar IPM es indudable, y se basa en que (47): a) puede ser un prerrequisito para los cultivos de exportación; b) disminuye el consumo de pesticidas, y c) obedece a problemas locales que requieren de tecnología local. Cabe hacer notar que el Brasil ha definido este tema como una de las prioridades de la investigación agrícola.

En suma, tanto en el caso del manejo de hierbas como en el de plagas, parecería ser que dejarlo enteramente a las fuerzas del libre mercado invita a una ronda de sorpresas ecológicas de graves consecuencias (31), y es un terreno donde la participación del sector público, tanto en la investigación como en la difusión de tecnologías, parece fundamental.

## 12. Impactos de la nueva tecnología sobre la agricultura

La Oficina de Predicción Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos (OTA), ha emitido recientemente un documento (61), en el cual plantea diversas preguntas claves que, por extensión, son perfectamente aplicables a América Latina.

- ¿Quién gana y quién pierde con el cambio tecnológico en la agricultura?

- ¿Es la investigación y extensión agrícola estructuralmente neutra, o favorece el crecimiento de las grandes granjas industrializadas?

- ¿Qué investigación y extensión, en relación con los cambios que se avecinan en la era tecnológica e informática?

- ¿Cuáles son los resultados prácticos del incremento de la participación del sector privado en la investigación agrícola?

- ¿Cuáles son las implicaciones del otorgamiento de patentes biotecnológicas e informáticas para el contrato social bajo el cual se creó el sistema de investigación agrícola?

La nueva biotecnología agropecuaria es parte de una revolución científico-industrial que tendrá en el mundo impactos de toda índole, siendo el más notorio el aumento en la calidad y la cantidad de la producción agropecuaria. Sin embargo, como se verá en seguida, si las cosas continúan en la dirección que vienen, la mayor parte de estos impactos serán de

carácter negativo en América Latina, a menos que se decida tener una política de investigación y producción biotecnológica que permita reencauzar este potencial en la dirección adecuada. Los impactos se analizan en las siguientes categorías:

- Estructura institucional de la investigación
- Estructura institucional de la producción de insumos
- Producción agrícola
- Estructura laboral
- Ecología

Se está produciendo una modificación en la estructura de investigación agrícola internacional, que se diferencia fundamentalmente de lo que caracterizó a la Revolución Verde, debido al carácter privado de la biotecnología en los países desarrollados (véase de nuevo el cuadro 1). En consecuencia, se destaca la importancia de que las instituciones públicas de investigación desarrollen una actitud positiva pero firme para lograr cooperar con empresas nacionales e internacionales (87). La estructura de investigación privada se produce a través de las grandes firmas químicas, farmacéuticas y petroleras, o en consorcio con pequeñas empresas de alta tecnología. Se da igualmente una tendencia a la constitución de consorcios internacionales, como por ejemplo el caso de sociedades francesas y japonesas que comienzan a invertir en empresas biotecnológicas norteamericanas (54). Sin embargo, es posible que, por sus características socioeconómicas, la investigación continúe siendo tarea del sector público en el caso forestal (53).

La producción de insumos agropecuarios se concentrará cada vez más en las grandes empresas multinacionales, las cuales penetrarán aún más en los mercados de los países menos desarrollados, y lo harán más rápidamente en los países que tengan leyes de patente que protejan las variedades de plantas y animales (87). Confirmando este hecho, es interesante recalcar que más de 100 pequeñas empresas productoras de semillas han sido adquiridas recientemente por grandes empresas como Monsanto o Upjohn. Un ejemplo interesante es que Royal Dutch/Shell y Unilever ya son líderes mundiales en crianza de patos y clonaje de plantas de palma (7).

La tendencia generalizada es hacia el desarrollo de una agricultura mucho más productiva, pero con base en el uso intensivo de insumos energéticos caros y escasos. La agricultura puede así transformarse en una

verdadera explotación "minera" o "industrial" de los nutrientes del suelo (7). Es probable que la biotecnología aumente el tamaño e industrialización de las granjas, provocando así la desaparición de los pequeños productores, que correrán en el mundo industrializado la misma suerte que los trabajadores textiles o siderúrgicos (64). En el caso latinoamericano, la tendencia incremental a la transnacionalización de la agricultura puede reforzar su modernización heterogénea, con grandes predios tecnificados y una agricultura de subsistencia (7). Adicionalmente, la tendencia generalizada de los nuevos desarrollos, dado el excedente agrícola de los países industrializados, se orientará más hacia los aumentos de calidad que a los de rendimiento, lo cual va en contradicción con las demandas más urgentes de América Latina.

El impacto más preocupante de la biotecnología lo constituye sin duda el desplazamiento de mano de obra. Las investigaciones actuales conducen, más que a aumentar la productividad de la tierra, a aumentar la productividad de la mano de obra. Esto se logrará a través de variedades nuevas y/o aditivos que faciliten la labor de deshierbe, fumigación y cosecha mecanizada. Los efectos sobre la agricultura latinoamericana pueden ser muy violentos. Si no se desarrolla una biotecnología propia, los países de la región se verán obligados, no sólo a pagar derechos, sino que a entrar en una vía de transformación técnica que no corresponde a la dotación de recursos, mano de obra y materias primas propias (7). Otra ruta por la cual se podrá producir el desplazamiento de mano de obra será a través de la eliminación de cultivos tradicionales, en la medida en que surjan, como ya está ocurriendo, los sustitutos para la caña de azúcar, el café, el cacao, y otros sabores y aromas.

El otro impacto de importancia, si no se controla adecuadamente, es el daño ecológico que se pudiera producir por el uso excesivo de herbicidas, pesticidas, y por la liberación indiscriminada de nuevas variedades de microorganismos o plantas modificadas genéticamente. Como en el caso de la salud y los farmacéuticos, la falta de legislación adecuada podría convertir a América Latina en el "territorio de prueba" de estos microorganismos.

### 13. América Latina: Panorama general de la investigación y producción biotecnológica

A continuación, y para terminar esta revisión de tendencias internacionales, procuraremos dar un breve panorama de la situación latinoamericana en materia de producción e investigación agropecuaria:

En la década de los setenta, el promedio anual de importación de cereales fue de 5.5 millones de toneladas. Esa cifra subió en 1983/1984 a 24 millones.

- Un 55.7% de los productores mexicanos han sido calificados como de infrasubsistencia por la CEPAL (21). Algo semejante ocurre en otros países de América Latina.

- La crisis económica de los años ochenta se ha manifestado también en el sector agropecuario. Las tasas de crecimiento en la producción de alimento per cápita han sido (47):

<u>País</u>	<u>1971/1980</u>	<u>1980/1985</u>
Venezuela	-0.6	-1.6
Colombia	1.9	-0.9
Argentina	2.2	1.3
Brasil	2.5	0.1
México	0.6	-0.9
Sud América	1.6	0.3

- Las áreas de exportación que han experimentado un mayor crecimiento en las ventajas comparativas han sido oleaginosas, café, aceite, cacao, alimento animal y hortalizas (47).

- Un rasgo positivo lo refleja el hecho de que, en la última década, las tasas de crecimiento anual de la investigación agrícola en América Latina han sido muy altas (47):

México	12.8
Brasil	14.5
Ecuador	12.1
América Latina	6.4

- A pesar de su alta tasa de crecimiento, el promedio de gastos en I&D, hacia 1980, era todavía comparativamente bajo. Los países desarrollados exhiben un gasto superior al 1.5% del Producto Rural Bruto (PRB). En América Latina (48):

<u>País</u>	<u>Gasto como % PRB</u>
Panamá	5.3
Guyana	1.8
Argentina	1.6
México	1.4
Venezuela	1.3
Brasil	1.2
Chile	0.8
Colombia	0.6

- En paralelo con su elevado crecimiento, los sistemas nacionales de investigación agrícola han experimentado en la última década fuertes problemas, que se pueden resumir en (75 y 65):

- a) Excesiva inversión en instalaciones, comparada con el desarrollo de recursos humanos;
- b) Carga administrativa excesiva y localizaciones poco adecuadas;
- c) Falta de congruencia entre prioridades de investigación y prioridades económicas;
- d) Ciclos de desarrollo y estancamiento;
- e) Baja participación de los usuarios de la investigación en la toma de decisiones;
- f) Escasa descentralización, y
- g) Escasa autonomía financiera y administrativa.

- En materia de biotecnología, el mayor énfasis ha sido en el cultivo de tejidos. Sin embargo, una encuesta a 82 instituciones reveló que en promedio había sólo dos doctores en ciencia por centro, que apenas el 33% tenían más de 100,000 dólares de infraestructura, y que su presupuesto combinado era de sólo 2 millones de dólares. Sólo Brasil, Argentina y Costa Rica tienen planes nacionales de biotecnología (47).

- En materia de cooperación biotecnológica, cabe destacar la aprobación reciente del Programa Regional del PNUD en biotecnología, de 5 millones de dólares, y los importantes planes de cooperación en esta materia de Brasil y Argentina.

#### 14. Problemas de la difusión de tecnología en América Latina

Siendo esta una revisión introductoria para la definición de una política acerca de la biotecnología agropecuaria en México, es indispensable hacer

algunas consideraciones sobre lo que ha sido la difusión de tecnología agropecuaria en la región, puesto que todo hace prever que, de no haber cambios institucionales significativos, es probable que la biotecnología se introduzca por los canales de difusión y comercialización ya existentes (47). De acuerdo con A. de Jarvry (47), la difusión de tecnología seguiría, en una primera aproximación, un patrón por oleadas:

Prácticas agronómicas	(década de 1940)
Maquinaria	(1950-1960)
Semillas	(1960-1970)
Agroquímicos	(1970-1980)
Biotecnologías	(1980- )

Sin embargo, en una revisión más precisa, este autor plantea que los determinantes básicos del cambio técnico han sido, en forma no tan dependiente del tiempo:

- Precios de factores y productos;
- Recursos públicos para investigación y extensión, y
- Tamaño de los predios.

Las correlaciones obtenidas indican que:

- Sueldos altos inducen innovaciones ahorradoras de mano de obra;
- Predios grandes tienden a ahorrar mano de obra, y
- El gasto público en I&D tiende a aumentar la productividad de la tierra.

En este proceso, cabe hacer notar que la difusión ha sido desigual y heterogénea, alcanzando casi la saturación en los cultivos comerciales, y casi nula en cultivos campesinos. En estos últimos, el cambio técnico es mucho más complejo, pues: a) requiere complementarse con programas de desarrollo rural; b) es específico de cada localidad, y c) los campesinos tienen poca capacidad de presión y organización política.

De Jarvry concluye que el cambio técnico ocurre cuando:

- Entre los productores hay condiciones para una acción colectiva efectiva.
- El Estado asume el liderazgo en algunos programas tecnológicos.

A la inversa, el cambio técnico se ve retrasado cuando:

- Los productores son numerosos, dispersos y desorganizados
- Los bienes producidos tienen poca significación económica.

Conviene mencionar tres características adicionales, que tienen relación con la política biotecnológica:

- La lentitud de la difusión, especialmente entre pequeños productores. Por ejemplo, el desarrollo de una capacidad exportadora de fresa y brócoli en México tomó cerca de 20 años.

- En los últimos 30 años, la difusión de tecnología en América Latina ha ocurrido en lo fundamental a través de la venta de maquinaria e insumos, más que por la práctica extensionista.

- En los sectores modernos y exportadores, las transnacionales agroindustriales han jugado un papel clave en la modernización de los productores.

Estas consideraciones sobre difusión de tecnología serán retomadas en el capítulo referente a propuestas de instrumentos de política.



### III. DIAGNOSTICO DEL POTENCIAL CIENTIFICO-TECNOLOGICO DE MEXICO: EL CASO DE LA BIOTECNOLOGIA

Este capítulo analizará el estado actual de la biotecnología en México y de las ciencias básicas que apoyan su desarrollo. Se puede advertir desde el inicio que, si bien el nivel alcanzado por la biotecnología se sitúa entre los más altos de América Latina, se está aún lejos de aprovechar productivamente en la agricultura y la fabricación de alimentos el potencial científico-tecnológico existente.

En una primera sección, se discutirá la metodología utilizada en la presente evaluación de la biotecnología en México. A partir de las fuentes de información existentes se hará, en seguida, un primer diagnóstico de las investigaciones en curso en las diversas instituciones del país, las áreas de trabajo en el campo de la biotecnología tanto vegetal como animal, el grado de avance de los proyectos, el número de investigadores aplicados a los mismos y las principales limitantes técnicas con que se topa el desarrollo de las biotécnicas aplicadas a la producción agropecuaria y forestal y a la producción de alimentos.

#### 1. La metodología utilizada en la evaluación de la biotecnología en México

Una primera aproximación al estudio del estado actual de la biotecnología parte de una mera descripción cuantitativa tanto de los estudios en biotecnología, ofrecidos en las universidades y centros científicos del país, como del número de proyectos y de instituciones públicas y privadas de investigación trabajando en los diversos campos biotecnológicos. Este enfoque, el más utilizado hasta ahora, es útil en una fase previa a un diagnóstico más cualitativo, pero puede llevar a conclusiones demasiado rápidas. Por ejemplo, en México se ofrecen actualmente siete maestrías (UNAM, 1; CINVESTAV, 2; CICY, 1; Instituto Tecnológico de Veracruz, 2; e Instituto Tecnológico de Durango, 1) y dos doctorados en biotecnología (UNAM y CINVESTAV-Irapuato) y se pueden recensar entre 200 a 400 proyectos de investigación en curso en centros y universidades nacionales; se podría inferir, de estos datos, que la capacidad científico-tecnológica del país es alta si se le compara con la de la mayoría de países latinoamericanos que no ofrecen posgrados en la materia y tienen menos investigaciones en curso. Sin embargo, se llegaría a la conclusión opuesta si se comparara a México con los

países líderes a nivel mundial en la biotecnología, particularmente con los Estados Unidos, y con algunos de los grandes consorcios transnacionales. Como se vio en el capítulo II, algunas empresas tienen inversiones de 150 millones de dólares en laboratorios y de igual magnitud, en términos anuales, en I.D. Esto significa que una sola empresa transnacional dedica a I.D., para la nueva biotecnología, cantidades que, con base en un cálculo aproximado, pueden ser más de 100 veces del total de la inversión en la investigación biotecnológica realizada en México. Un caso ilustrativo es el laboratorio del CINVESTAV de Irapuato, uno de los más grandes y mejor dotados del país en biología molecular y cultivo de tejidos; éste tuvo un costo aproximado de unos 5 a 7 millones de dólares, es decir, 20 a 30 veces menos que el laboratorio polivalente de la Monsanto en los Estados Unidos.

Una segunda aproximación al estudio de la capacidad biotecnológica nacional debería centrarse en un análisis no sólo cuantitativo sino, además, cualitativo de las instituciones de investigación existentes (personal científico y de apoyo técnico, instalaciones e infraestructura, etc.), de los proyectos recensados (su contenido, grado de avance, escalonamiento a planta piloto e industrial, su articulación con el sector industrial, y la relación interinstitucional entre equipos de investigación, etc.) Pero, en el momento en que se entra en una evaluación cualitativa, es necesario definir cuáles son los criterios que van a guiarla.

## 2. Las instituciones de investigación y de producción de biotecnología vegetal en México

La descripción cuantitativa y el análisis de carácter más cualitativo del estado actual de la biotecnología en México está supeditado a la existencia de información. Como se mencionó, la mayoría de las evaluaciones son de tipo descriptivo y se limitan a levantar un inventario de las instituciones y de los recursos humanos, equipos, acervos bibliográficos y capacidad docente disponibles en las mismas. Es el caso del catálogo 1984 del Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica (COSNET) de la Secretaría de Educación Pública, que presenta una encuesta en la que participaron 116 instituciones (23).

Otros estudios que presentan una visión general de la biotecnología, y a veces de áreas específicas de la misma en México (y América Latina) son los siguientes: una encuesta levantada en 1984 por la Asociación Mexicana de

Cultivo de Tejidos Vegetales, cuyos resultados fueron publicados en el Boletín de la misma Asociación y también por Manuel Robert y Víctor Loyola en 1985 (79, págs. 21 a 26); un estudio de Héctor Losoya publicado en 1985 (55); un directorio latinoamericano de biotecnología agrícola y una encuesta levantada por W. Roca, M.C. Amézquita y V. Villalobos, la cual contiene datos sobre proyectos de investigación en curso (73 y 74); algunos estudios más parciales sobre proyectos de cultivos de tejido en el país (79) o sobre la biotecnología en las Américas (59). En el caso de las encuestas, sus autores están conscientes de las limitaciones inherentes a ese método de análisis: preguntas enviadas por correo, bajo porcentaje de respuestas, imposibilidad de controlar su calidad, etc. Una segunda fuente de información está constituida por informes anuales u otros documentos emitidos por las unidades de investigación (20).

Para elaborar este informe, se tuvo en cuenta los estudios mencionados, pero la principal fuente de información utilizada proviene de una investigación realizada por Karel Chambille y Rosalba Casas dentro del marco del proyecto "Biotecnología y autosuficiencia alimentaria" coordinado por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Xochimilco) (16 y 24). La ventaja de este estudio, con respecto a los anteriores, es que se basa principalmente en unas 80 entrevistas directas y personales realizadas entre octubre de 1986 y junio de 1987. Los entrevistados fueron en su mayoría científicos de universidades, centros de investigación nacionales e internacionales situados en México, y algunos funcionarios públicos y empresarios privados. Este método corrige, en cierta medida, las carencias de las encuestas por correo y la sobrevaluación de los resultados. Sin embargo, las dificultades para cubrir todo el territorio nacional limitan en algo la representatividad de la muestra del universo considerado. Para suplir en parte esta limitación, se recurrió, en ciertos casos, a la encuesta por correo y por teléfono para entrevistar a científicos de algunos Estados, a los que no fue posible contactar directamente. El estudio distingue entre biotecnología vegetal, animal y agroindustrial y expondremos los resultados en el mismo orden.

a) Unidades de investigación en biotecnología vegetal

Las principales unidades de investigación (entendidas como equipos de trabajo a veces identificados formalmente, o formando parte de unidades académicas más amplias) con proyectos en biotecnología vegetal están

enumeradas en el cuadro 4. Las unidades de investigación suman 30 a las cuales se agregan tres instituciones públicas y tres empresas privadas que producen, mediante métodos biotecnológicos --sobre todo cultivo de tejidos, como veremos más adelante--, material vegetal para su utilización en la producción agrícola, frutal y ornamental.

Existen otras nueve unidades de investigación y seis de producción de material genético vegetal no incluidas en el cuadro 4, ya que han cesado de trabajar en el campo de la biotecnología vegetal o de que, a falta de información directa, no consta que actualmente estén realizando proyectos de investigación o de producción comercial de material vegetativo. Dichas unidades están enumeradas en una nota del mismo cuadro.

Este número bastante significativo de equipos de investigación (y menos importante en lo que concierne a la producción comercial de materiales genéticos, lo que es también significativo, como se verá más adelante) debe ser completado con otros indicadores que permitan evaluar la capacidad de investigación y de producción de biotécnicas de los mismos, tales como la cantidad y los niveles de capacitación del personal de las unidades de investigación y los recursos financieros disponibles.

Según el estudio ya señalado habría, a comienzos de 1987, alrededor de 100 investigadores, entre los cuales 49 Ph.D., 22 M.C. y 27 licenciados realizando proyectos en biotecnología vegetal. Sin embargo, esta estimación tiende a subestimar el total a falta de mayor información (24, pág. 36). Las cinco unidades más grandes cuentan con 53 investigadores, distribuidos de la manera siguiente: CINVESTAV, Irapuato (15 Ph.D., 4 M.C., 2 licenciados); Departamento Bioquímica, Fac. Química, UNAM (8 Ph.D.); Departamento Biología Molecular de Plantas, Centro de Investigaciones sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM (5 Ph.D., 3 M.C.), Cuernavaca; CICY, Mérida (5 Ph.D., 2 M.C., 1 licenciado) y Laboratorio de Biotecnología, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados de Chapingo (2 Ph.D. y 6 licenciados).

Estas cifras apuntan a una fuerte concentración de los recursos científicos en un número reducido de instituciones, entre las cuales destaca el CINVESTAV, Irapuato, que se ha constituido en el centro de excelencia de la biotecnología vegetal y que está aun en plena expansión. Hay que considerar además que, de las 30 unidades censadas, hay 18 que pertenecen a instituciones de enseñanza superior, y es probable que los investigadores dediquen una parte de su tiempo a la docencia. Más aún, otras como el

CINVESTAV y el CICY están impartiendo programas de maestría y aun de doctorado (en Irapuato), lo que hace más aleatorio estimar el tiempo que los investigadores destinan realmente a la investigación. Sin embargo, la docencia no está siempre desligada de la investigación, pues una parte no despreciable de los proyectos, que se analizará en la próxima sección, corresponden a estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado (24 pág. 35).

La capacidad de investigación de un país esta también ligada a los recursos financieros disponibles para cada unidad de trabajo. Hay que distinguir aquellos destinados al financiamiento del presupuesto anual de la institución, que cubre con dificultad los salarios y los gastos de mantenimiento de los laboratorios y los requeridos para pagar técnicos, equipos y material de laboratorio, bibliografía científica y otros gastos adicionales incurridos por los proyectos en curso. Las fuentes de recursos externos, ya sea nacionales o extranjeras, tienen por consiguiente un papel fundamental para el desarrollo científico y tecnológico.

Las fuentes de financiamiento interno más importantes para proyectos de biotecnología son el CONACYT, abierto en principio a todos los centros de investigación, y el COSNET para los proyectos del Sistema Nacional de Educación Tecnológica. El CONACYT publica cada año las cantidades asignadas a las diversas unidades de investigación y de ahí se pueden identificar las destinadas a los proyectos en biotecnología vegetal, como lo muestra el estudio ya señalado (24, cuadro 9, págs. 37 y 38). Estas benefician, en orden decreciente, al CINVESTAV-Irapuato (178,260,000 pesos), a la UNAM (43,566,000 pesos, de los cuales 35.2 millones son para el Departamento de Bioquímica), al Colegio de Postgraduados de Chapingo (41,064,000 pesos, de los cuales 27,342,000 son para el Laboratorio de Biotecnología del Centro Genético), al CICY de Mérida (32,597,000 pesos) y, en menor medida, al CIATEJ de Guadalajara (1,760,000 pesos). Estos datos son de 1986, año en que la suma total aprobada por el CONACYT ascendió a 297 millones de pesos. Es decir, que se da una perfecta coincidencia entre las unidades que concentran los recursos humanos y los financiamientos para investigaciones en biotecnología vegetal otorgados por el CONACYT.

Esto no significa que no haya otras fuentes de financiamiento: por ejemplo, el INIFAP recibe fondos a través de la SARH, y así sucede con otros centros de investigación públicos o paraestatales. Existen otras fuentes

nacionales como el Fondo Ricardo J. Zebada y el Programa México, así como algunas empresas privadas y públicas que solicitan investigaciones a universidades y centros de investigación.

Las principales fuentes internacionales son la National Academy of Sciences, la National Science Foundation, la OEA, la Comunidad Económica Europea, la UNESCO, la ONUDI y la Fundación Rockefeller. Estas han ayudado o ayudan, entre otros, al CIFN-UNAM, al CINVESTAV-Irapuato y al CICY, aunque no sólo para biotecnología vegetal. Los tres centros funcionan sobre la base de aproximadamente un 50% de fondos externos que complementan los fondos propios; por supuesto que esto no es el caso de pequeñas unidades de investigación, sobre todo de provincia. Se podría discutir aquí no sólo las prioridades a establecer para asignar recursos a las unidades de investigación, y más aún, las que habría que fijar para distribuir equipos y programas de investigación y de docencia en biotecnología entre las diversas universidades y centros de investigación. Para contar con más elementos de análisis, se debe entrar antes en el estudio de los proyectos en curso.

#### b) Biotecnología vegetal: Áreas de trabajo en México

Corresponde ahora examinar a qué áreas de la biotecnología vegetal se dedican las investigaciones en curso en las 36 unidades censadas en el cuadro 4. Siguiendo la metodología de Casas y Chambille, se escogieron tres áreas que pertenecen propiamente al campo de la biotecnología vegetal: dos principales (micropropagación de plantas y mejoramiento genético de plantas) y una en estado incipiente, como el cultivo de tejidos orientado a la producción industrial (metabolitos secundarios).

El estudio de Chambille y Casas incluye información sobre las unidades de investigación censadas en lo que respecta a investigaciones básicas, que sirven de apoyo necesario al desarrollo de biotécnicas más perfeccionadas para lograr un mejoramiento genético vegetal y no sólo la mera micropropagación vegetativa de las plantas.

El cuadro 5 presenta las mismas 30 unidades de investigación identificadas en el cuadro 4, y señala las áreas de trabajo en biotecnología vegetal que cubren actualmente. Estas son específicamente: micropropagación de plantas, mejoramiento genético de plantas, cultivo de tejidos orientados a la producción industrial (metabolitos secundarios) y, finalmente, la

existencia de estudios básicos que, aunque fuera del campo de la biotecnología, son un apoyo necesario para su desarrollo.

El análisis de los datos presentados en el cuadro 5 permite llegar ya a ciertas primeras conclusiones sobre el desarrollo de la biotecnología vegetal en México. Resulta obvio que éste está centrado en la micropropagación de plantas; de las 30 unidades de investigación censadas, existen 24 que la practican y, de éstas, 15 que no tienen otra actividad en el campo de la biotecnología. Esto es más obvio aún en el caso de las empresas que aplican la biotecnología para fines productivos: las seis empresas públicas y privadas que venden productos obtenidos mediante biotécnicas sólo se dedican a la micropropagación vegetativa de plantas.

Esta situación no es muy distinta de la del resto de América Latina, que aunque en general con menos recursos que México, centra también su esfuerzo en la micropropagación, que es como el primer paso en la investigación sobre biotecnología vegetal; la encuesta del CIAT señala que la ingeniería genética se practica como excepción, sobre todo en algunos centros interregionales, como el CIP y el mismo CIAT (74).

En los países desarrollados, la situación es cualitativamente diferente. Allí, la aplicación comercial del mejoramiento genético de plantas, sobre todo mediante ADN<sub>r</sub>, se encuentra aún a nivel más bien incipiente. Pero los ingentes recursos están destinados no sólo a la investigación biotecnológica, sino también a estudios básicos de biología molecular y celular, fisiología, bioquímica y genética de plantas. Esto ha permitido grandes avances en el conocimiento de las plantas superiores que comienzan a dar lugar a aplicaciones productivas de la biotecnología, como las señaladas en el capítulo II.

c) Investigaciones actuales sobre micropropagación y preservación de germoplasma de plantas

Para avanzar aún más en el diagnóstico de la situación actual de la biotecnología vegetal en México, se deben analizar los proyectos concretos de investigación en curso en las 30 unidades de investigación identificadas anteriormente. Examinemos primeramente las especies trabajadas en la micropropagación y en la preservación de germoplasma de plantas (24, cuadro 4, págs. 20-25). Conviene advertir que esta información no es completa, sino

más bien una aproximación que permite con todo darse una idea bastante acertada de la orientación de las investigaciones actuales o muy recientes. En varios otros estudios se señalan proyectos ya terminados u otros que probablemente no se realizaron o abandonaron. (55 y 79).

Una parte importante de las investigaciones actuales sobre micropropagación se centra en flores y plantas ornamentales. De las 24 universidades y centros de investigación censados en el cuadro 5, hay al menos 7 con proyectos de ese tipo (ENEP-Zaragoza; Lab. CIV, Inst. Biología, UNAM; Fito-INIA; Depto. Botánica, ENCB; CICY; CAE-Zacatepec y CONAFRUT); de las seis empresas censadas, existen 5 que trabajan flores u ornamentales (Biogenética Mexicana; Mexicana de Micropropagación; Departamento de Floricultura; CONAFRUT; Centro de Micropropagación, y PROTIMBOS). Otros proyectos están dedicados a la micropropagación de cultivos que, como flores y plantas ornamentales, están también principalmente orientados a la exportación: se trata de café (Lab. CIV, U.A. de Chapingo; Lab. CIV, e INMECAFE) y de frutas (fresas y piñas: Centro de Genética, Colegio de Postgraduados Chapingo, y Centro de Micropropagación, Oaxaca).

La micropropagación de árboles frutales está relativamente desarrollada: cítricos (U.A. de Nuevo León; U. de Sonora; CAE-Zacatepec, y CAE-Gral. Terán); papaya, aguacate, (Lab. Embriogénesis; Colegio de Postgraduados Chapingo; Lab. CIV, y CONAFRUT); guayaba y durazno (CAE-Pabellón); vid (CAE-Pabellón y CAE-Laguna). Dos áreas significativas de investigación son la micropropagación de plantas de agave (Lab. Biotecnología, Colegio Postgraduados Chapingo; Depto. Fitotecnia, U.A. Chapingo; CICY y las empresas Tequila Cuervo y Centro de Micropropagación, Oaxaca) y la de plantas forestales reducida a una sola unidad de investigación, el Laboratorio de Biotecnología del Colegio de Postgraduados de Chapingo, en donde se reproducen tres tipos de pinos, cedro rojo y otras tres especies tropicales. Los estudios sobre micropropagación de especies hortícolas son menos frecuentes (varias especies en U.A. Agraria Antonio Narro; nopal en el Lab. Micropropagación, Colegio Postgraduados de Chapingo y en el Centro de Micropropagación en Oaxaca; apio en el Depto. de Biofísica, ENCB). Pese a la importancia de los forrajes, existe sólo un proyecto de micropropagación: el estudio de la alfalfa en el Depto. de Biofísica de la ENCB y lo mismo para plantas alófitas (CIATEJ). Hay que mencionar también las investigaciones orientadas a la preservación de productos hortícolas: cebolla y ajo (Lab.



CTV e Instituto de Biología, UNAM), papa (Fito-INIA; CAE-Zacatepec; Programa Nacional de la Papa) y, finalmente, yuca (CAE-Zacatepec).

Según los autores de este estudio, la mayoría de las investigaciones señaladas se sitúan, dentro del ciclo investigación básica-investigación aplicada-desarrollo tecnológico, entre las "investigaciones aplicadas". Es decir, que tratan de determinar las condiciones óptimas para reproducir vegetativamente ciertas especies vegetales, experimentando con las condiciones del cultivo (solución y hormonas empleadas, luz, temperatura, etc.) y con el material genético utilizado en el mismo cultivo. Son más bien trabajos artesanales y, en buena medida, repetitivos, ya que estudian especies, cuya reproducción in vitro ya ha sido reportada en los países líderes en el campo de la biotecnología. Por lo demás, muchos de ellos han escogido especies relativamente fáciles de reproducir vegetativamente, aunque haya algunas excepciones, como las investigaciones sobre agaves y varias especies forestales. (24, pág. 24).

Este juicio que puede parecer algo crudo, se sustenta en el hecho de que sólo cinco de las 23 unidades comprometidas en investigaciones sobre micropropagación y preservación de plantas poseen, paralelamente a los laboratorios de cultivo de tejido, estudios básicos que permitirían comprender mejor la fisiología y la genética de las plantas, así como los mecanismos involucrados en la regeneración vegetativa in vitro. Esto explica, además, el hecho de que un porcentaje muy reducido de las unidades que realizan hoy cultivo de tejidos entren al área más compleja de mejoramiento genético, lo cual se tratará en el próximo inciso.

Finalmente, conviene concluir que los datos presentados muestran claramente el predominio de los trabajos centrados en flores y plantas ornamentales y en especies frutales. Otra línea importante es el agave con resultados comerciales inmediatos. Sin embargo, los cultivos o plantas de gran potencialidad para México, ya sea para la exportación o para el mercado interno, parecen estar débilmente representados o aun ausentes. Es el caso del café y de los forestales, sobre los cuales hay sólo tres unidades que realizan estudios de micropropagación y del azúcar, que en lo que corresponde al cultivo de tejidos, no interesa aparentemente a los investigadores.

d) Investigaciones para el mejoramiento genético de plantas mediante biotécnicas: Especies trabajadas en el país

Como se mencionó, las principales biotécnicas utilizadas para mejorar, es decir, modificar genéticamente las plantas, son la variación somaclonal, la selección in vitro de células, el cultivo in vitro de anteras, el rescate de embriones, la fusión de protoplastos y, finalmente, la utilización de la ingeniería genética y del ADN-recombinante. En el cuadro 6 se contrastan los resultados de la investigación de Casas y Chambille, basada sobre todo en entrevistas directas, con encuestas o estudios anteriores, tales como los de Robert, Losoya y Quintero. Los datos presentados permiten hacer varias observaciones.

En primer lugar, las discrepancias, en varios casos, entre las informaciones de Casas y Chambille y las de otros autores presentadas en la columna derecha, se deben sin duda a que estos últimos (55 y 79) provienen de encuestas o de proyectos presentados al CONACYT (68), y no de entrevistas directas como son los que aparecen en la columna izquierda del cuadro 6. En segundo lugar, los datos de la columna derecha son de 1985, mientras que los de Casas y Chambille reflejan la situación del primer semestre de 1987. Es así como varios trabajos censados en 1985 han desaparecido dos años después, ya sea porque se terminaron o, lo que es más probable, porque se abandonaron; esto apunta al hecho de que esos datos reflejaban proyectos bien intencionados y no tanto investigaciones en curso. Esto es tanto más cierto cuanto los datos de las encuestas de Robert y Losoya no han sido controlados por entrevistas directas.

En tercer lugar, la mayoría de las investigaciones presentadas allí podrían ser calificadas como incipientes en lo que se refiere al mejoramiento genético. Los trabajos están sobre todo en la fase de regeneración de plantas a partir de células en suspensión, lo que no constituye más que una condición previa a un verdadero programa de mejoramiento genético. Este, sin duda, requiere de largos años de dedicación, y en él la biotecnología puede desempeñar un papel complementario —por cierto, muy importante—, pero que no sustituye las técnicas tradicionales de fitomejoramiento mediante cruzamiento de variedades y experimentos de campo. La razón es que, por muy exitosa que sea la aplicación en laboratorio de técnicas como el ADNr a las plantas, la validez de la nueva biotecnología se comprueba a través del

producto final, es decir, la nueva variedad mejorada produciendo en el campo (24, pág. 28).

De la evaluación realizada por Casas y Chambille, se deduce que sólo las investigaciones del CINVESTAV, Irapuato, del CAE-Zacatepec, del CIMMYT (y quizás de la Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro (UAAAN), de la cual no se obtuvo suficiente información), están comprometidas en programas de mejoramiento genético con posibilidades serias de lograr resultados en el mediano y largo plazo. De estas tres, dos están relacionadas al fitomejoramiento tradicional (CAE-INIFAP y CIMMYT), lo que es una ventaja por lo dicho anteriormente, y la tercera, el CINVESTAV, entra desde el otro extremo, es decir, de la biología molecular. El CINVESTAV es actualmente el único centro nacional, y quizás de América Latina, con excepción del CIGB de Cuba, que trabaja propiamente en la ingeniería genética de plantas.

Existen seis unidades de investigación que trabajan con granos básicos (maíz, trigo, frijol y arroz), pero estos trabajos son incipientes, salvo el del CIMMYT (que, con todo, no tiene programas de ingeniería genética) y quizás la UAAAN de Saltillo. El CINVESTAV pretende aparentemente desarrollar un programa de arroz y frijol, que encontrará obstáculos técnicos no perfectamente resueltos, aun a nivel mundial). Los cereales y leguminosas son especies que no aceptan fácilmente la regeneración a partir de la fusión de protoplastos. Sin embargo, en los últimos meses se han registrado avances en la introducción de material genético a monocotiledóneos utilizando el Agrobacterium tumefaciens como vector o simplemente por fusión de protoplastos. Estos avances se han logrado tanto en Bélgica y Francia como en los Estados Unidos. Es decir, que la tarea de los centros nacionales de investigación biotecnológica en el campo de los granos básicos es sin duda ardua, pero necesaria y de prioridad, tal y como se mencionó en el punto 1 de este capítulo (86, págs. 696-709).

Resta por mencionar un cultivo industrial, sin duda de gran importancia para México, tanto por el producto como por los subproductos generados que tienen amplias posibilidades de industrialización, así como también por constituirse en una fuente de empleo importante para el país. Se trata de la caña de azúcar. En el cuadro 6 sólo se menciona un trabajo sobre el azúcar, que es el del CAE-INIFAP, Zacatepec. El Instituto de Mejoramiento de la Producción de Azúcar (IMPA), dependiente de Azúcar, S.A., la paraestatal que controla gran parte de la producción y la distribución de azúcar, cuenta con

un centro principal de investigación en Orizaba, Ver. En dicho centro se comenzó en 1982 un programa de variación monoclonal para mejorar genéticamente las variedades de caña. Sin embargo, este programa fue abandonado en 1984 por razones no muy claras y en todo caso carentes de visión: falta de recursos y dudas sobre la eficacia del cultivo de tejidos en el caso del azúcar. Resulta paradójico que México, gran productor de azúcar, invierta pocos recursos en este tipo de investigación, mientras que países como Francia, no productores de caña en su territorio metropolitano, tengan investigaciones avanzadas en el mejoramiento genético de la caña; el laboratorio CNRS de la Universidad de Orsay, cerca de París, ha logrado ya liberar variedades mejoradas para los territorios de ultramar y países amigos africanos.

Una área de investigación de gran dinamismo en los países desarrollados, sobre todo a partir de 1986, está prácticamente ausente en el país. Esta área, cuyos avances recientes fueron reportados en el capítulo II, tiene que ver con las plantas resistentes a los insecticidas, a los herbicidas y las llamadas plantas autofertilizantes. La amenaza para los países en desarrollo es tanto más grave, ya que lo que se busca, y está en vías de lograrse, es la manipulación y mejoramiento de los cereales, alimento básico esencial en todo el mundo. Por supuesto que estas plantas desarrolladas por empresas transnacionales pondrían fuera de competencia a países como México, y si se quisiese adquirir las variedades mejoradas, habría que pagarlas muy caras ya que están protegidas por patentes (40, 86 y 89).

Como lo demuestran los datos ya presentados, el incipiente mejoramiento genético de plantas, practicado en México, se orienta en el mejor de los casos a producir variedades libres de virus y desarrollar resistencia a algunas plagas a enfermedades, y a condiciones adversas del medio ambiente: salinidad, sequía, etc. Es cierto que el ya mencionado Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN) de Cuernavaca ha concentrado fuertes recursos —fuertes, en relación con la escasez de estos mismos en el país— pero se dedica casi exclusivamente a la investigación básica (por ejemplo, sobre la biología molecular de microorganismos y, como excepción, sobre el frijol y su simbiosis con el rhizobium).

e) Biotecnología vegetal: Aplicaciones industriales

Las investigaciones en biotecnología vegetal analizadas hasta ahora tenían aplicación en la agricultura. Se examinarán brevemente en este inciso las unidades de investigación en biotecnología, que utilizando como materia prima material vegetal, tienen aplicación en el sector industrial. Hay que distinguir estos proyectos de los del área de las fermentaciones que usan microorganismos, y no plantas, para transformar la biomasa en productos industriales, como se verá en la próxima sección.

Según el estudio de Casas y Chambille, existen actualmente tres proyectos de investigación sobre las especies Digitalis purpurea (ENEP-Zaragoza), Catharantus roseus (CICY) y Capsicum (CINVESTAV, D.F. e Irapuato). Hay, además, dos proyectos incipientes en el Departamento de Biofísica de la Escuela Nacional de Biología sobre Dioscorea composita y Solanus elongifolium. En general, estos proyectos, que intentan producir por biosíntesis sustancias o metabolitos secundarios de uso médico, requieren de conocimientos no sólo de técnicas de cultivo in vitro, sino también de bioingeniería.

Los tres primeros proyectos mencionados pretenden producir, respectivamente, Digoxina, Vincristina/Vinblastina y Capsaicina. La Digoxina es de venta amplia (7,500 kg en el mercado mundial) y su precio es altísimo (10,000 dólares el kilogramo). Los mercados más restringidos del alcaloide Vincristina/Vinblastina (entre 1 y 12 kg por año) determinan un precio aún más elevado (un millón de dólares por kilogramo). La Capsaicina tiene un mercado reducidísimo (100 gramos) y su precio asciende a 40,000 dólares el kilogramo. Los tres se encuentran en la fase de laboratorio en los dos CINVESTAV y en el CICY. En esta última institución, el proyecto (inicialmente en Bioquímica de la UNAM) busca más bien estudiar la bioquímica de las rutas metabólicas de la producción de los alcaloides, mientras que el de Capsicum se centra en el diseño de los biorreactores. Es probable que estos proyectos no pasen a la fase industrial dada la competencia en el mercado mundial (24, 79 y 86).

f) Principales investigaciones básicas en biotecnología vegetal

En el cuadro 5 se mencionaron las ocho unidades de investigación que podían contar con estudios básicos dentro de la institución que las acogía. Estos estudios son importantes para el desarrollo de la biotecnología

vegetal, en la medida en que la fisiología, la bioquímica, la genética y la biología molecular y celular de las plantas permiten fundamentar científicamente los proyectos de micropropagación, y aún más el cultivo *in vitro*, bajo sus diversas formas, y sobre todo la utilización del ADN<sub>r</sub> y de la ingeniería genética.

Conviene hacer un recuento de los proyectos en curso. Estos se presentan en el cuadro 7. Los que ahí se censan no incluyen otros tomados en cuenta en los estudios citados de Robert y Losoya (55 y 79) y que han sido probablemente descontinuados: por ejemplo, los trabajos de la ENCB sobre tabaco y caña de azúcar, los del Departamento de Bioquímica de la UNAM sobre metabolismo nitrogenado de células *in vitro* de maíz (24, pág. 33). Los estudios del CINVESTAV sobre biología molecular están orientados al desarrollo de la ingeniería genética para mejorar las especies mencionadas en el cuadro 6 y, por lo tanto, son trabajos básicos muy ligados a la aplicación. Esto demuestra la dificultad de distinguir demasiado absolutamente entre ciencia básica y ciencia aplicada en el campo de la biotecnología; la investigación básica es dinamizada en gran medida por las aplicaciones comerciales derivadas de los descubrimientos científicos (51). Recientemente, el mismo centro ha comenzado a utilizar el método de RFLP (Restriction Fragment Length Polimorfisms), cuyo objeto es detectar características agrícolas deseables en el genoma de las plantas. Esto lo hace a solicitud del CIMMYT que no cuenta con estudios básicos propios y que desea integrarse en una red mundial de instituciones y empresas operando este método (24, pág. 33).

Pese a que la mayor parte de su investigación se centra en los microorganismos, el Centro de Investigaciones sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN) de la UNAM está también incluido en el cuadro. Esto se debe a que posee un Departamento de Biología Molecular de Plantas, en donde se estudia la simbiosis entre frijol y *rhizobium*. De este modo, el CIFN y el CINVESTAV de Irapuato son actualmente las dos unidades de investigación que están trabajando en la biología molecular de plantas, pero existen planes en el Departamento de Bioquímica de la UNAM y en el Centro de Botánica del Colegio de Postgraduados de Chapingo (y quizás también en el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de La Paz) de iniciar estudios en biología molecular de plantas (24, pág. 33).

### 3. Las unidades de investigación y de producción de biotecnología ganadera en México

En esta sección sobre la biotecnología aplicada a la ganadería en México no trataremos específicamente de los productos farmacéuticos y veterinarios, ni tampoco de la producción de alimentos balanceados con relación a biotécnicas agroindustriales examinadas en el próximo capítulo sobre la biotecnología agroindustrial. Baste decir que los primeros, es decir, los medicamentos, las sustancias de diagnóstico, los anticuerpos monoclonales y las vacunas se encuentran entre los productos comerciales de punta. Estos están en manos de grandes empresas transnacionales, por lo demás, en áspera competencia entre sí, y respecto de ellos, nuestro país está prácticamente fuera de la carrera en lo que corresponde al desarrollo de una tecnología autóctona. Se trata de un sector industrial muy exigente en cuanto a inversiones y recursos humanos.

Debido a lo anterior, solamente se analizará aquí dos técnicas relativamente avanzadas en su aplicación en los países desarrollados, y en estado aun incipiente en el país. Se trata de la transferencia de embriones y de las hormonas de crecimiento. En verdad, sobre este tema hay poca literatura como lo demuestra el estudio pionero editado por Quintero en 1985, "Prospectiva de la Biotecnología en México", que no contiene directamente información sobre la biotecnología animal y ganadera (68). Existe, con todo, un catálogo del COSNET con datos de 1982 (23). No hay tampoco investigaciones globales sobre el estado actual de la misma, salvo algunas aportaciones del estudio de Casas y Chambille (24, págs. 48 a 50). Estos reportan que en 1984, 1985 y 1986, el CONACYT ha apoyado sólo dos proyectos de investigación en biotecnología animal: en 1985 apoyó con 2,500,000 pesos a la Dirección General de Normatividad Pecuaría de la SARH para el establecimiento de un banco de embriones, y en 1986 destinó 13,800,000 pesos a un proyecto de investigación sobre la producción de hormona de crecimiento bovino en la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

#### a) Proyectos sobre transferencia de embriones

R. Casas y K. Chambille, basándose en catálogos y datos existentes y en encuestas propias, han logrado detectar las siguientes unidades de investigación:

1. Centro Agropecuario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Según COSNET, realiza investigaciones de embriones en conejos y mamíferos adultos. Sin embargo, los autores no pudieron verificar el estado actual de estas investigaciones.

2. Unidad de Enseñanza e Investigación en Zootecnia, Sección de Fisiología. Realizó una investigación que, gracias a un investigador australiano invitado, logró efectuar 17 transferencias, de las cuales seis fueron exitosas. Este proyecto no ha sido continuado.

3. Departamento de Estudios de Postgraduados e Investigación, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica, Universidad Autónoma de Nuevo León. La tecnología de transplantes desarrollada allí se estaría aplicando por la Unión Ganadera de Nuevo León.

4. Departamento de Transferencias de Embriones, Dirección General de Normatividad Pecuaría, SARH, Ajuchitlán, Qro. Tiene actualmente tres proyectos en el campo de la transferencia de embriones: a) transferencia de embriones bovinos; b) formación de un banco de embriones mamíferos domésticos, y c) producción de gemelos monocigóticos en bovinos mediante bipartición de embriones. De un costo anual de 150 millones de pesos, las investigaciones comienzan a tener aplicaciones en algunos Estados y a utilizarse por algunos veterinarios al servicio de ganaderos criadores de animales de registro.

5. Centro de Mejoramiento Genético y Transplante de Embriones, LICOONSA. Esta empresa filial de CONASUPO ha creado a fines de 1986 un Centro de Mejoramiento Genético y Transplante de Embriones en Tepozotlán, Edo. de México, en un predio concedido en comodato por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVYZ) de la UNAM. Uno de sus objetivos es desarrollar programas de mejoramiento genético con base en el proceso de inseminación artificial.

Aparte de lo señalado, hay sin duda algunos médicos veterinarios que practican en favor de ganaderos la transferencia de embriones, pero no se sabe con certeza la extensión de esta práctica privada. Por lo demás, predomina entre los miembros de la profesión veterinaria la idea de que la transferencia de embriones es menos beneficiosa para el país que la inseminación artificial, sobre todo en lo que se refiere a los costos comparativos de ambas técnicas. (60)



b) Proyectos sobre hormonas de crecimiento para el ganado

Parece haber poca conciencia en el país de la manera espectacular de como la transferencia de embriones será potenciada por la aplicación de técnicas de ingeniería genética. La inserción de genes se efectúa en la fase unicelular del embrión, pues los nucleótidos sólo entonces aceptan la inserción de genes clonados desde el exterior. Estos serían hormonas de crecimiento, prolactinas (que estimulan la producción de leche), enzimas digestivas e interferones. Esto permitiría aumentar tanto el crecimiento y la producción de leche, como la resistencia a enfermedades (61, pág. 36).

En México sólo se conoce un proyecto en el campo de las hormonas de crecimiento, iniciado recientemente. Está a cargo de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León y se refiere a hormonas bovinas de crecimiento. Existía, desde 1985 en la unidad de investigación del Dr. Barrera Saldaña, otro proyecto sobre hormonas de crecimiento humano.

#### IV. LA INVESTIGACION Y PRODUCCION DE BIOTECNOLOGIA RELACIONADA CON LA AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA (Y NO ALIMENTARIA) DE MEXICO

Uno de los campos de mayor futuro para la biotecnología es la industria de alimentos y la agroindustria en general. En México, la industria ha utilizado biotecnologías tradicionales aplicadas por ejemplo a las bebidas fermentadas, a la fabricación de quesos, etc. Sin embargo, las nuevas biotecnologías registran avances recientes, como son los siguientes: la ingeniería de fermentación y la ingeniería enzimática que aumentan su productividad y bajan los costos de producción y el consumo de energía, gracias al uso de nuevas cepas de bacterias y otros microorganismos, y de biorreactores en continuo. Como ya se mencionó, se registra también un avance considerable en la industria farmacéutica.

Mediante procesos mejorados de fermentación y utilización de nuevas enzimas, se podría dar un amplio uso a esquilmos agrícolas y subproductos, como los del azúcar (bagazo, melaza, bagacillo, cachaza, etc.), no sólo para fabricar por ejemplo proteína unicelular, sino además para evitar efectos contaminantes de desperdicios evacuados en las aguas (cachaza). Otros casos de productos que mediante tratamientos por fermentación sólida y sumergida pueden transformarse en forrajes enriquecidos en proteína incluyen a la yuca, rastrojos de maíz y de otras cosechas, desechos de plátano, suero de leche, etc. Las fermentaciones son también utilizadas en la producción de biogás a partir de basuras y de excretas animales y humanas. Otras líneas de trabajo son la fabricación de enzimas y setas para consumo humano.

Las investigaciones actuales en México están presentadas en el cuadro 8. Hay que destacar, entre las unidades censadas, al Departamento de Alimentos de la Facultad de Química de la UNAM, al Departamento de Biotecnología de la UAM en donde se trabaja bajo la coordinación del Dr. Gustavo Viniegra, en forma conjunta con la ORSTOM de Francia, la fermentación sólida de la yuca mediante el hongo Aspergillus niger y los trabajos de fermentación de la Dra. Mayra de la Torre del CINVESTAV que utiliza la melaza para producir proteína unicelular. Estos dos últimos proyectos están en la fase de escalamiento industrial y, por lo tanto, están en vías de pasar ya a la fase de producción comercial (16, 18 y 91).

Según entrevistas con estos dos investigadores, el tránsito a la producción comercial implica, además de los delicados problemas de ingeniería industrial, la reducción de los costos de producción de los nuevos insumos

que reemplazarían, en este, caso, a las pastas de soya y al sorgo. En efecto, las empresas los han adquirido frecuentemente subvencionados por parte de la CONASUPO, de tal modo que para sustituirlos por proteína unicelular y harina de soya enriquecida, en la fabricación de alimentos balanceados, existen sólo dos soluciones. La primera es que el gobierno, dentro de una estrategia de autosuficiencia alimentaria, implemente una política de estímulos para su producción y sustitución por soya y sorgo importados. La segunda es la fabricación simultánea de una serie de subproductos con mayor valor comercial que la proteína unicelular o el alimento de yuca; este proceso de producción polivalente permitiría rebajar los costos promedios. Finalmente, conviene resaltar aquí un doble hecho con respecto a la investigación agroindustrial: por una parte, ésta es casi inexistente en las empresas nacionales y, por otra, la investigación académica está poco articulada con las empresas. A menudo, éstas recurren a la solución más fácil, que es la de adquirir tecnologías extranjeras. En este sentido, se deben mencionar esfuerzos tales como los del Centro para la Innovación Tecnológica de la UNAM que trata de relacionar al investigador científico con las empresas (19).

## V. LA SITUACION AGRICOLA Y AGROINDUSTRIAL EN MEXICO. AVANCES EN LA UTILIZACION DE LA BIOTECNOLOGIA

Entre los estudiosos del tema, existe sin duda un cierto consenso en torno a la cuestión de la profunda crisis que afecta a la agricultura mexicana, caracterizada por un estancamiento de la producción de granos básicos y por las condiciones sociales adversas para el sector campesino mayoritario. Esto no encuentra respuesta en un periodo de deterioro creciente de la economía nacional —presa en la vorágine de la asfixiante deuda externa y de los bajos precios del petróleo— que en otro de crecimiento rápido del PNB, como por ejemplo en la mitad de los años sesenta, cuando sin embargo se manifestaron ya los primeros síntomas del estancamiento de la producción agropecuaria. Pero, aunque haya consenso respecto de la grave crisis por la que atraviesa hoy la agricultura, no existe sin embargo acuerdo con relación a las causas de su origen y que la determinan hasta el presente. Este informe no pretende analizar una a una las diferentes interpretaciones de la crisis, sino más bien limitarse a estudiar un aspecto del deterioro de la agricultura, como la creciente vulnerabilidad externa del sector agropecuario que en el pasado sirviera, como se vio anteriormente, de proveedor principal de divisas para satisfacer las necesidades de la industria en crecimiento.

### 1. Autosuficiencia y soberanía alimentarias

En 1980, la balanza comercial agrícola registra por primera vez un saldo negativo de 566 millones de dólares. Si a esto se agregan insumos y maquinarias importados, sobre todo para el sector agroalimentario modernizado, se completa el cuadro de extrema vulnerabilidad externa; éstos registran cifras negativas desde hace 30 años y, por ejemplo, en 1980 el déficit sobrepasó los 1,000 millones de dólares, es decir, el doble del déficit de ese año de la balanza comercial agropecuaria. Entre 1977 y 1981, un 10.2% anual del total de ingresos por exportaciones de mercancías debieron destinarse a importar alimentos (maíz, sorgo, soya, aceites, leche, etc.) y otros productos (celulosa). En el mismo periodo, las tasas de crecimiento anual de las importaciones ascendían a 30.6%. Hacia 1982, el coeficiente de dependencia externa en el consumo nacional aparente de cereales y granos básicos sobrepasaba ya un 20% (35, págs. 151-180). El análisis anterior lleva a la conclusión de que la agricultura, la cual contribuyó

significativamente en las primeras etapas de la industrialización al desarrollo de la economía nacional, gracias al aporte de divisas requeridas para importar bienes de capital, se convierte hoy en utilizadora neta de divisas. Estas son sustraídas del resto de la economía u obtenidas de préstamos externos que abultan aún más la enorme deuda externa del país. Aparte de los efectos negativos sobre el nivel de vida de los campesinos, el nivel nutricional de la población, la falta de autosuficiencia agrícola y alimentaria de un país, con todo, rico en recursos naturales, hace que el desequilibrio estructural del régimen de acumulación se acentúe aún más por este mal desempeño de la agricultura y su forma de articulación al resto de la economía. Aparte de los efectos sociales de desempleo y pauperización que sufre la población campesina, la agricultura en su conjunto es desde los años sesenta como el talón de Aquiles de la economía (1). Esto se agrava en los últimos años de restricciones impuestas por la deuda externa y las exigencias del FMI.

Los cuadros 9, 10 y 11 extraídos del Programa Nacional de Desarrollo Rural Integral, 1985-1989 (PRONADRI), promulgado en el presente sexenio, dan una idea bastante exacta de la situación actual de dependencia alimentaria de México. Este programa tiene como meta, de acuerdo con estimaciones y proyecciones, alcanzar para 1988 la autosuficiencia en maíz y arroz y consolidar la de trigo y frijol ya lograda. Dentro de los productos agroindustriales, se obtendrá también la de azúcar. Sin embargo, se continuarán importando altas cantidades de pastas y aceites vegetales, sorgo, leche, huevo y una cantidad menor de carne bovina. En el caso de maderas y celulosa, el déficit, aunque en disminución, subsistiría aún en 1988. Aparte del hecho de que estas metas no se alcanzarán en 1988 --salvo excepciones, como el azúcar y el maíz--, la falta de autosuficiencia alimentaria nacional en granos básicos, ni siquiera en la forma limitada propuesta por el PRONADRI, será algo inherente a la agricultura del país a no ser que se modifique profundamente la estrategia de desarrollo agrícola y alimentario del país. Esta realidad pone también en peligro el logro de los objetivos propuestos por el PRONAL en 1983, tales como "procurar la soberanía alimentaria y alcanzar condiciones de alimentación y nutrición conducentes al pleno desarrollo de las capacidades y potencialidades de cada mexicano" (66, pág. 27). Conviene, finalmente, comentar los datos globales sobre producción y rendimientos presentados en los cuadros 9, 10 y 11. Estos ocultan

profundas diferencias regionales y, más aún, las existentes entre unidades productivas comerciales y campesinas en cada región. Una indicación de esto está dada, indirectamente, por la comparación de los rendimientos promedios de algunos productos con aquellos de otros países. Resulta claro que los de maíz y frijol, productos básicos cultivados sobre todo en tierras de temporal ejidales, están muy por debajo de los rendimientos obtenidos en los países de agricultura avanzada, y al contrario se encuentran otros productos (soya, algodón, sorgo, trigo, etc.) provenientes de la pequeña propiedad comercial alimentaria nacional en granos básicos.

El cuadro 12 ilustra esta situación con más detalle. En efecto, las importaciones para la agricultura, la ganadería, el sector forestal y las agroindustrias relacionadas ascendían en 1985 a 2,888 millones de dólares y constituían ya un 20.6% del total de importaciones del país. Tan sólo el complejo ganadero era responsable del 50% de las mismas. Esto demuestra claramente cuán falaciosas son ciertas afirmaciones sobre que México ya tiene una balanza comercial con cifras negras en lo que respecta al intercambio de productos agropecuarios y forestales. Aunque esto sea cierto, en algunos años estos datos excluyen los insumos agropecuarios, forestales y agroindustriales (35). La realidad es que la agricultura, y particularmente su sector ganadero, no sólo es incapaz de satisfacer la demanda de alimentos en el país, sino además causa un desequilibrio externo que grava fuertemente la economía nacional.

## 2. ¿Qué aportes debería ofrecer la biotecnología a una nueva estrategia de desarrollo agrícola y alimentario?

Si se aceptan orientaciones semejantes a las propuestas por el PRONADRI y el PRONAL para llevar a cabo una estrategia de desarrollo agropecuario, forestal y agroindustrial, centrada en lograr una mayor autosuficiencia y soberanía alimentaria, se podrían determinar ciertas prioridades en lo que respecta al desarrollo biotecnológico.

Como el análisis anterior lo ha demostrado, los elementos principales de la actual crisis agrícola y alimentaria son los siguientes: a) insuficiente producción de granos básicos (y sobre todo de maíz) para satisfacer la demanda (efectiva y real) de la población; b) insuficiente producción de otros alimentos "prioritarios" (según la definición del PRONAL), como son los productos lácteos, aceites y grasas vegetales, pescado, etc.;

c) insuficiente producción de alimentos para ganado (sobre todo, aves, puercos y ganado lechero), en función del paquete tecnológico adoptado, como la utilización de alimentos balanceados con ingredientes cuya producción es deficitaria en el país (sorgo y soya) y de un patrón de consumo importado que tiende a imponerse y está centrado más en el consumo de carne que de maíz y frijoles y, además, en el de otros alimentos no tradicionales como son el pan blanco, bebidas gaseosas, etc. (sin contar los llamados alimentos chatarra);  
d) producción insuficiente de celulosa y papel, pese a la abundancia de los recursos forestales en el país.

Sin embargo, la crisis se manifiesta también, y se manifestará aún más en el futuro, en el sector agrícola de exportación. En efecto, la caída en los últimos años de más de 30% en los precios internacionales de los principales productos de exportación (azúcar, café, cacao, etc.) no es sólo un deterioro coyuntural en los términos del intercambio que se podría atribuir, por ejemplo, a la recesión en los países industrializados y a la consiguiente baja del comercio internacional en los años ochenta. Como el análisis de los primeros capítulos de este estudio lo deja en claro, hay una modificación de la actual división internacional del trabajo: los países industrializados, gracias al desarrollo tecnológico y en particular de la biotecnología, se transforman, de importadores de materias primas agrícolas y de alimentos, en exportadores, logrando así la autosuficiencia alimentaria. En otras palabras, logran la autosuficiencia alimentaria y esto no sólo en los Estados Unidos, potencia agrícola mundial, sino también en la CFE, y en un plazo no lejano en la URSS, importadores tradicionales de materias primas y alimentos.

Esto se logra, a menudo, sustituyendo productos antes importados mediante nuevos insumos obtenidos biotecnológicamente de materias primas abundantes en los países desarrollados, que pueden ser agrícolas o no. Como se vio, esto es ya una realidad para el azúcar de sacarosa cuya sustitución por isoglucosas de maíz y, más recientemente aspartamo, alcanza alrededor de un 50% del mercado estadounidense de edulcorantes. Este proceso incidirá, permanentemente, en la baja de los precios de las materias agrícolas y alimentos exportados tradicionalmente por los países en desarrollo, desequilibrio que debería acentuarse en la medida en que la revolución biotecnológica logre en la próxima década multiplicar significativamente los actuales rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales.

Es decir, que la teoría de ventajas absoluta y relativa se modifica en lo que respecta a los productos agrícolas y alimentos. Cualquier política de exportación debe tomar en cuenta que ya no existen ventajas absolutas o relativas permanentes: las ventajas son hoy eminentemente dinámicas, es decir, deben conquistarse en el mercado internacional con nuevos productos y subproductos para los cuales se crea una demanda y que, al cabo de un tiempo, la competencia hace que desaparezca o disminuya.

¿Qué puede aportar la biotecnología para corregir la situación deficitaria en la producción nacional de los cinco grupos de productos señalados y el deterioro de los mercados tradicionales de exportación? En los dos capítulos anteriores, se dio cuenta de la existencia de un considerable potencial científico tecnológico en el campo de la biotecnología. Este dista mucho de ser comparable al de los países líderes en la materia, pero parece ser suficiente para desarrollar en campos específicos tecnologías autóctonas capaces de aprovechar la riqueza de la biomasa existente en el país. Más aún, esta política podría revigorar la economía nacional en la medida en que el sector agropecuario y forestal, y las agroindustrias ligadas al mismo, lograsen no sólo disminuir el desequilibrio externo ya señalado, sino además creasen una nueva demanda por bienes industriales. La articulación agricultura-industria podría, entonces, estar en la base de un patrón de acumulación que valorizara recursos hasta hoy subutilizados.

Sin embargo, no hay que olvidar los puntos débiles del potencial biotecnológico mexicano: el número de investigaciones concernientes a productos básicos es relativamente bajo, más aún si el desarrollo de la biotecnología en el campo de los cereales es más difícil y requiere por lo demás conjugarse con el fitomejoramiento tradicional; la falta de investigaciones básicas que permitan potenciar técnicas de micropropagación mediante el mejoramiento genético de las variedades y especies vegetales y animales; el débil grado de aplicación comercial de muchas de las investigaciones y la falta de escalamiento industrial de varios experimentos relacionados con la agroindustria y el tratamiento de subproductos de materias primas, cuyos precios se deterioran en el mercado internacional (azúcar, cacao, café, banano, etc.); la dominación ejercida por paquetes tecnológicos transmitidos por empresas transnacionales y sobre todo el que más impacto ha tenido en la modificación del patrón de cultivos de los granos



básicos (complejo alimentos balanceados, soya, sorgo); los escasos recursos para investigación y desarrollo, situación que se agrava en un período de crisis; el difícil proceso de transferencia de tecnología al sector ejidal productor de granos básicos, etc.

No obstante, el país debe enfrentarse, quiera o no, al gran desafío impuesto por el desarrollo reciente de la biotecnología. En efecto, ésta, mucho más que la Revolución Verde de los años cincuenta, cuyas técnicas estaban relativamente disponibles para los países en desarrollo, está siendo desarrollada y controlada bajo patente principalmente por empresas transnacionales. Por lo demás, la biotecnología se desarrolla con base en recursos naturales, humanos y de capital abundantes en los países donde se origina. México, país rico en biomasa, debe desarrollar otras tecnologías, sobre todo aquellas que permitan valorizar productos y subproductos de sus regiones tropicales hasta hoy poco aprovechados. Esto es tanto más necesario cuanto que precisamente allí se dan los productos de exportación tradicionales —azúcar, café, cacao, etc.— que están siendo sustituidos en los mercados de exportación por productos fabricados con base en biotecnología en los países industrializados.

Sin embargo, se observa una creciente conciencia política respecto de la necesidad de una reconversión económica del país y, en particular, de su sector agroalimentario, que podría constituirse en una área estratégica. Orientado por la perspectiva de una mayor soberanía alimentaria, el amplio potencial en recursos naturales y humanos de la agricultura mexicana debería desarrollarse hacia el mercado interno, cuya demanda, pese a la crisis actual, continúa creciendo y hacia una nueva política de exportaciones. Esta debería conquistar mercados, no sólo con base en el intercambio de materias primas tradicionales, sino sobre todo de productos agroindustrializados y de mayor valor agregado, capaces de satisfacer necesidades específicas en los países industrializados, y otros.

Un plan coherente debería tratar de reducir los déficit de sorgo y soya y asimismo de leche. Para los dos primeros, la biotecnología podría hacer grandes aportes: tratamiento de subproductos del azúcar cuya productividad podría elevarse con base en nuevas variedades y en una reorganización de los ingenios. La introducción del cultivo de la yuca en el área del Golfo de México podría reemplazar en parte el sorgo, y así liberar tierras para el maíz. La adaptación de "contra-paquetes tecnológicos" —distintos de los

transnacionales-- para los sistemas productivos campesinos que pueden articular granos básicos con ganadería o con producción forestal serían probablemente mejor acogidos que planes anteriores centrados en un solo producto. En fin, las posibilidades forestales de México son incormensurables si se racionaliza el manejo de los bosques y la explotación de maderables y no maderables, efectuada hoy mediante destrucción de los recursos naturales; se podrían aprovechar ramas y puntas, hasta ahora desperdiciadas, en vez de troncos para fabricar celulosa y otros subproductos. La biotecnología permite acelerar la reproducción de plantas y por lo tanto la necesaria reforestación. Muchos esquilmos de la industrialización de la madera, de productos no maderables --y de la producción agrícola y ganadera en general-- pueden ser también tratados por medio de biotécnicas que los valorizan en lugar de ser desperdiciados.

## VI. AGENTES INTERNOS Y EXTERNOS DE DIFUSION Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

El establecimiento de una estrategia de desarrollo agrícola y alimentario, según las orientaciones dadas en el capítulo anterior, se topa con un escollo mayor que es la difusión de las nuevas técnicas hasta el productor. En este capítulo se analizará con cierto detalle cuáles son los agentes internos de difusión de tecnologías y cómo podrían actuar en la implementación en México de una nueva estrategia de desarrollo.

En efecto, en la medida en que se difunda la biotecnología, ésta formará parte de un conjunto mayor de técnicas agropecuarias que se utilizarán en mayor o menor medida en el campo mexicano y, como tal, es probable que se difunda por canales iguales, o al menos similares, a los del conjunto de la tecnología agropecuaria. En consecuencia, conviene realizar una revisión somera de estos agentes, en el entendido que su impacto es muy diferente, dependiendo del tipo de usuarios.

Los usuarios potenciales de tecnología en el sector agropecuario pueden en primera instancia ser clasificados bajo tres clases:

- Los ejidatarios, cuya mayoría ejerce fundamentalmente actividades productivas dirigidas a la subsistencia y con un valor agregado reducido;
- Los pequeños propietarios, que comprenden a los particulares que producen insumos de interés comercial y generalmente con un mayor valor agregado, y
- Las agroindustrias que, una vez establecidas, cuentan generalmente con buenos niveles de organización, ya sean ejidales o particulares, y que se dedican a actividades de transformación.

La primera categoría descrita comprende aquellos productores que cuentan con menores recursos económicos, educacionales y técnicos y que, consecuentemente, concentran la atención de ciertos programas gubernamentales. En contraste, las otras dos categorías cuentan, generalmente, con recursos tanto técnicos como económicos suficientes, en ocasiones considerables, y concentran gran parte del crédito y otros beneficios otorgados por el Estado.

### 1. Agentes difusores de tecnología en México

Los principales agentes para la difusión de tecnología son:

- a) El sistema de extensionismo de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos;
- b) El extensionismo que realizan los grandes complejos agroindustriales, sobre todo transnacionales;
- c) Las agrupaciones de productores;
- d) Los vendedores de agroquímicos, maquinaria, semillas, alimento para animales y otros insumos;
- e) Agentes especializados para el sector pecuario, y
- f) Las revistas especializadas.

En seguida se analizará cada uno de estos diversos agentes:

#### a) La SARH, el INIFAP y el BANRURAL

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) se encarga en forma central de coordinar y ejercer, en su mayoría, las transferencias de tecnología en el sector. La SARH cuenta para ello con un esquema de organización constituido de la siguiente forma:

- i) Existe un delegado de la SARH en cada estado de la Federación.
- ii) Existe una serie de distritos en cada estado que dependen del delegado del mismo. Dichos distritos respetan las fronteras políticas de los municipios; si bien, dependiendo de las extensiones geográficas de éstos, pueden existir varios municipios dentro de un distrito o a la inversa, varios distritos en un municipio
- iii) Existen varios centros en cada estado que atienden a los distritos en cuestión.
- iv) Existe un nuevo cargo por delegación estatal llamado Jefe de Información Tecnológica, cuya función es asesorar y supervisar al delegado en las acciones de transferencia tecnológica y de vinculación con el sector de investigación nacional.
- v) Dependiendo de cada delegación estatal, existen numerosos extensionistas encargados de las acciones particulares de transferencia de tecnología y asesoría directa a los productores. En 1984 existían aproximadamente 18,000 extensionistas a nivel nacional. Es interesante hacer notar que en ese mismo año habían en los Estados Unidos solamente 14,700 extensionistas.

El esquema, anteriormente descrito, corresponde a la reorganización que la SARH ha realizado a fin de descentralizar sus funciones. Anteriormente, las decisiones en materia de transferencia tecnológica eran fundamentalmente realizadas en las oficinas centrales de la misma. Dentro del esquema actual, por lo menos en el papel, se determina que sean las delegaciones estatales las que promuevan y decidan sobre las acciones de transferencia tecnológica.

Sin embargo, nada indica que los objetivos buscados se estén realizando. La planificación se sigue efectuando, en general, en forma centralizada y verticalista. Las delegaciones estatales tienen una contraparte en la SARH de cada entidad federativa y el éxito de la ejecución de los planes de desarrollo depende mucho de la concertación de las dos instancias, lo que no siempre se logra.

Otros problemas que se presentan a menudo tienen que ver con la rotación de funcionarios, al compás de los cambios políticos, y con los escasos recursos que manejan los agentes extensionistas, generalmente encasillados en la categoría profesional más baja en cada distrito de desarrollo rural. Se trata, precisamente, de aquellos que supuestamente están en contacto con campesinos y otros productores agrícolas: el tiempo tomado por el papeleo burocrático y los problemas de falta de vehículos o de reparaciones de los mismos, para que los agentes que trabajan directamente con ejidos y otras formas de organización campesina puedan trasladarse oportunamente, constituyen en el origen del fracaso de muchos proyectos.

Pero quizá el problema más importante que no ha sido hasta ahora resuelto en forma satisfactoria es la escasa, por no decir inexistente, participación de los campesinos en los planes de desarrollo y de difusión tecnológica que finalmente les son impuestos. Esto tiene particular incidencia en aquellos productores integrados en sistemas productivos campesinos en los que tradicionalmente se conjuga la producción de autoconsumo con la producción para el mercado, que combina cultivos agrícolas con producción pecuaria y a veces con la explotación de bosques. En el caso hipotético de que una biotécnica sea ofrecida para su utilización al productor, es necesario que ésta se inserte a un sistema tecnológico y productivo sin provocar un desequilibrio que lo conduzca a su destrucción. No hay que olvidar que de esto depende la subsistencia del campesino y su familia.

De este análisis se desprende que, aunque tenga muchas imperfecciones en su funcionamiento, la SARH cuenta con una extensa organización para realizar acciones de transferencia tecnológica, pudiendo ejercer, al menos nominalmente, una coordinación interinstitucional para la transferencia de tecnologías en el agro nacional mediante los diversos convenios que las instituciones dependientes de la misma realizan con los diferentes institutos existentes en el sector nacional de investigación. Asimismo, en el caso de semillas, fertilizantes, o plaguicidas, existen por ejemplo funciones normativas a cargo de la Dirección General de Sanidad Vegetal. Por otra parte, la SARH cuenta con mecanismos propios de generación tecnológica, principalmente mediante el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Dicho Instituto depende directamente de la SARH, como organismo desconcentrado, de forma tal que su estatus sería semejante al de una Dirección General. Los mecanismos particulares de la institución para la difusión y transferencia de tecnologías son coordinados a nivel nacional en las oficinas centrales del Instituto mediante el Programa de Validación de Tecnología, dependiente de la Dirección de Capacitación y Difusión Científica y Tecnológica. Las acciones específicas se realizan a partir de los diversos centros regionales y de los campos experimentales que de ellos dependen. De esta forma, cada centro se responsabiliza de la vinculación con las áreas geográficas adyacentes. Sin embargo, ya que el Instituto depende directamente de la SARH, todas las acciones en este sentido son reportadas a la misma, quien en dado momento se encarga, mediante la organización ya señalada de delegaciones estatales, de realizar la difusión y transferencia de dichas acciones a otras áreas geográficas del país. Conviene señalar que esta función confiada a la SARH y a organismos de investigación como el INIFAP, que aunque descentralizados son con todo dependientes de la primera, puede exhibir ciertas virtudes pero también ciertos inconvenientes.

Para aclarar esto, conviene referirse al organigrama de la extensión en otros países. En el caso de los Estados Unidos, la investigación y la extensión agrícola dependen de una manera diferente del Departamento de Agricultura. Este último fija áreas de prioridad para la investigación y la adopción de nuevas tecnologías, pero fomenta y realiza la investigación aplicada y la extensión tecnológica en forma casi totalmente descentralizada: con base en contratos con las Universidades de Agricultura (Land Grant Colleges) destaca ahí sus investigadores que participan, además, en la

docencia y en la extensión agrícola hacia los productores locales. Este esquema cuenta con ciertas ventajas: independencia de la investigación de los vaivenes políticos que afectan a las distintas administraciones, contacto mayor con los productores de cada Estado y desarrollo de un trabajo de investigación más adaptado a las necesidades locales, etc.

No se pretende con esto decir que este organigrama debería instalarse en México. Se trata de situaciones totalmente diferentes en lo que respecta a los productores —basta contrastar los farmers con los ejidatarios—, a los recursos científicos y humanos disponibles, a los presupuestos asignados a la extensión, etc. Pero sí se podría buscar en México formas más descentralizadas de investigación y de difusión tecnológica para evitar un cierto gigantismo y burocratismo de nuestras instituciones agrícolas, una programación demasiado ceñida a los plazos sexenales —lo que es más delicado en el caso del desarrollo y la difusión tecnológica que tiene sus propios plazos— y a cambios de estrategia derivados más que de necesidades intrínsecas de consideraciones políticas ajenas a la misma. Lo mismo podría decirse sobre la evaluación del trabajo de investigación y de la extensión realizada por ejemplo por INIFAP: la participación de universidades y centros de investigación y también de organizaciones de productores podría ayudar a este organismo a salir de un cierto aislamiento que lo caracteriza.

El BANRURAL es otra de las instituciones gubernamentales que tiene mayor peso en el campo. Debido a que su objetivo fundamental es realizar acciones de apoyo financiero a las operaciones productivas del agro, no cuenta con una estructura extensa en lo que a difusión y transferencia tecnológica se refiere. El Banco cuenta con personal que se encarga de asesorar en materia técnica a los productores que reciben los créditos, aunque su principal objetivo es asegurar o garantizar el uso adecuado de los créditos otorgados. Sin embargo, dado que el Banco cuenta con una extensa organización en contacto directo con los productores, puede, en determinados casos, y respondiendo a necesidades específicas, actuar como promotor de innovaciones tecnológicas, pero estas son acciones por excepción y generadas normalmente por demandas concretas detectadas en el sector. Las acciones anteriormente mencionadas son coordinadas por la Secretaría Técnica del Banco. Existe por otra parte apoyo financiero del mismo en lo que a innovación tecnológica se refiere. Sin embargo, más que financiar investigaciones o acciones de difusión tecnológica, el Banco otorga apoyo a proyectos específicos en el

ámbito de la agroindustria. Cabe señalar que la principal "clientela" para el sistema estatal de extensionismo han sido los ejidatarios y que las críticas al sistema burocrático y vertical no han faltado, sobre todo en el caso de BANRURAL (71, pág. 127 y siguientes).

b) Los compradores agroindustriales

De acuerdo con De Janvry, en general, las agroindustrias, especialmente transnacionales, han constituido también una fuerza dinámica para transferir tecnología y sustituir mercados imperfectos de crédito, insumos y extensionismo. Sin embargo, en los casos en que han trabajado con un gran número de pequeños productores desorganizados, el cambio tecnológico ha sido mínimo, y la agroindustria en este caso actúa más bien para drenar las ganancias de un campesinado generalmente estancado. Algunas lecciones derivadas del caso mexicano son las siguientes:

- El desarrollo de una capacidad para cultivar hortalizas en un volumen y con una calidad suficiente para competir internacionalmente tomó cerca de 20 años.

- Las transnacionales buscaron activamente a los cultivadores más grandes, para reducir sus costos de acopio y extensionismo.

- La mayor parte de la investigación agronómica utilizada por estas compañías se ha desarrollado en California, particularmente en la Universidad de ese estado.

- En general, las transnacionales evitan tratar con ejidatarios, a pesar de que han existido algunos ejemplos exitosos, que demuestran que la alianza entre campesinos y agroindustria es posible, pero que requiere considerable tiempo y esfuerzo de investigación para que opere.

- El caso de la fresa constituye el ejemplo negativo, ya que la fracción mexicana del mercado de fresa congelada en los Estados Unidos disminuyó de 35% a 15% en la última década. Esto, a pesar de que México debiera tener una ventaja comparativa, por ser un cultivo intensivo en mano de obra. En este caso, es significativo notar que no hubieron grandes corporaciones transfiriendo tecnología; en cambio, las asociaciones de productores americanos invierten 500,000 dólares anuales para investigación en la Universidad de California.



c) Las agrupaciones de productores y la transferencia de tecnología

Las asociaciones y agrupaciones de productores existentes, a nivel municipal, constituyen ocasionalmente mecanismos de transferencia tecnológica. No obstante, la eficiencia de las mismas depende de un número de factores de índole informal, como lo serían, por ejemplo, el balance de fuerzas e intereses internos en la organización particular, las relaciones que en dado momento tengan los líderes de las mismas con las diversas instituciones académicas y gubernamentales, la continuidad que las mismas ofrezcan a las acciones de transferencia tecnológica, una vez iniciada ésta (la cual aparentemente, constituye uno de los cuellos de botella más importantes), etc.

d) Los proveedores de insumos como agentes de difusión

México paga al año 300 millones de dólares en contratos de transferencia tecnológica (industrial), e importa cerca de 10 veces más en bienes de capital. Se puede trazar, así, una analogía con el sector agropecuario, donde es posible que el hardware tecnológico, en forma de tractores, maquinaria, semillas mejoradas, agroquímicos y productos sanitarios sean el principal canal de transferencia de tecnología. Para ilustrar esto, el cuadro 13, extraído de la matriz insumo-producto de México, muestra cómo los insumos constituyen el 15% del valor bruto de producción silvícola, el 17% de la agrícola y el 42% de la pecuaria, sobresaliendo las semillas, alimentos para animales, fertilizantes, productos químicos y medicinales.

Un gran porcentaje del cambio técnico en la agricultura se da a través de estos elementos y, en el caso de la biotecnología, es probable que se sigan rutas similares. En lo que respecta a innovaciones, cuyo vector es un producto, generalmente no es necesario un esquema complejo de organización por parte de los productores.

e) Agentes de difusión en el sector pecuario

En el sector pecuario existen una serie de agentes de innovación tecnológica claramente identificados con los aspectos de nutrición y salud. Tal vez el médico veterinario es el más importante agente de transferencia tecnológica en este subsector, ya que él se encarga de proporcionar en forma global la asesoría al productor. Asimismo, los laboratorios de productos

clínicos, así como los fabricantes de alimentos, proporcionan asesoría en forma intensiva en el sector, si bien limitada, a las áreas de interés de sus productos. También los proveedores de animales, tales como sementales y pies de cría, proporcionan asistencia técnica. En todos estos aspectos, pueden distinguirse dependencias tecnológicas del extranjero. Aparentemente, el papel de los ingenieros agrónomos en el subsector agrícola, con respecto al de los veterinarios en el pecuario, es de menor peso específico entre los productores particulares. Esto es, mientras que la asistencia del médico veterinario es indispensable para la producción de animales, lo cual lo sitúa, por lo tanto, en buena situación para canalizar innovaciones tecnológicas, los productores agrícolas no cuentan, en general, con ingenieros agrónomos permanentemente, si bien ocasionalmente se recurre a ellos para problemas específicos. Sin embargo, conviene recordar lo señalado anteriormente sobre su reticencia a la introducción de la biotecnología.

f) Revistas de información técnica

Otro canal de importancia relativa reducida, y que es utilizado predominantemente por los pequeños propietarios, lo constituyen las revistas técnicas, tanto de origen nacional como extranjero.

2. La difusión tecnológica a los productores agrícolas

En términos generales, en el caso de los pequeños propietarios, la iniciativa de transferencia tecnológica se da a partir de demandas concretas del productor. Existe escaso interés por las iniciativas de oferta tecnológica existentes por parte tanto de las instituciones académicas, como de las gubernamentales. Dicha falta de interés responde a un número de factores complejamente interrelacionados; sin embargo, tal vez el más relevante, y que a su vez podría agrupar otros elementos de importancia, lo constituye la desconfianza del productor, la cual seguramente cuenta con antecedentes históricos. El origen de dichas demandas se encuentra bien en la necesidad de resolver un problema técnico concreto, o en alguna inquietud del productor. Estas inquietudes son motivadas normalmente por imitación de innovaciones realizadas por otros productores y, en ocasiones, por revistas técnicas. Dicha demanda es satisfecha en su mayoría al margen de los apoyos institucionales. Esto es, no existe en general interés por recurrir al apoyo de programas oficiales establecidos ni a formalizar convenios de colaboración

con los sectores institucionales. En ocasiones, se satisfacen incluso a costa de altos riesgos financieros y por conductos heterodoxos. Así por ejemplo, un productor puede decidir introducirse a un nuevo cultivo o incrementar el grado de integración tecnológica, recurriendo al consejo de otros productores conocidos más que a instituciones que ofrecen consultoría o asesoría. No obstante, es al menos aparente que estos mecanismos de hecho funcionan en un alto número de casos, ya que el productor bajo estas circunstancias recurre a tecnologías validadas, si bien con muy poco apoyo técnico y/o científico de alto nivel. Cabe destacar dos reflexiones en este sentido:

- En primer lugar, el hecho de que una "buena" tecnología "camina sola", es decir, que si satisface finalmente las expectativas y requerimientos de beneficio/costo del productor, la tecnología comienza a ser transferida entre los productores por ellos mismos.

- El nivel de organización del usuario y los recursos financieros del mismo juegan un papel importante, si bien la inseguridad sobre la tenencia de la tierra a veces causa que los productores del sector no se interesen en realizar inversiones con alto riesgo o con expectativas de recuperación a largo plazo. Esto constituye, de hecho, una limitante para el desarrollo tecnológico del sector.

- El caso de los ejidatarios con respecto al de los pequeños productores es muy distinto, salvo en aquellos que han logrado un nivel de organización considerable. En la mayoría de los casos, la escasez de recursos y la imposibilidad de lograr economías de escalas apreciables, así como la falta de aspectos educacionales, contribuyen a que realmente la mayoría de sus actividades sean de subsistencia. Es en estos grupos en los que los esfuerzos de extensionismo del sector público se centran en su mayoría. Sin embargo, el éxito de estos esfuerzos depende, tan sólo en forma parcial, del aspecto tecnológico, ya que los factores políticos, económicos y sociales presentan un entorno complejamente interrelacionado. Por lo anterior, es difícil identificar mecanismos tan concretos, como los previamente mencionados, para las otras categorías descritas (pequeños propietarios y agroindustrias).

En cualquier caso, las tecnologías "complementarias" que respetan, en buena medida, las técnicas utilizadas por el productor, tienen una mayor probabilidad de éxito en su transferencia, que aquellas que tienden a

modificar sustancialmente las prácticas que históricamente ha seguido el productor. A su vez, la capacidad de modificación de dichas prácticas es función de los recursos y organización del productor, del entorno sociopolítico, y de la adecuación de la tecnología a las expectativas de rentabilidad de las mismas.

Entre los diversos factores que pueden afectar la transferencia exitosa de una tecnología, se ha determinado como uno de los más importantes el que la misma sea correctamente validada. Esto es, que al pasar del campo experimental o el laboratorio al usuario, sufra un proceso de ajuste que garantice el éxito en su aplicación. En este sentido, ha sido demostrado que en innumerables ocasiones existe una brecha entre los rendimientos de los campos experimentales y los rendimientos de los productores. Para la solución de este problema, se ha desarrollado un esquema metodológico en el cual se contempla como indispensable el realizar ensayos en parcelas de validación, en las cuales se ajuste la tecnología generada en el campo experimental a las condiciones existentes en las parcelas del productor. También ha sido identificado como un factor importante el realizar demostraciones ejemplares y ensayos de adopción de las tecnologías in situ. Entre los factores que influyen en el éxito de la transferencia de una técnica, dejando de lado los de carácter político y socioeconómico, podría señalarse que el recurrir a tecnologías sencillas, poco específicas, que con todo produzcan beneficios al productor, que sean baratas y de bajo riesgo, que sean más bien complementarias y no totalmente innovativas, y que contemplen las prácticas y experiencias que el mismo productor tiene, garantiza un incremento en los éxitos de transferencia de las mismas.

## VII. INSTRUMENTOS DE POLÍTICA TECNOLÓGICA EN MÉXICO

Este capítulo contiene un análisis del sistema de ciencia y tecnología nacional, las formas de planificación utilizadas y sus relaciones con el sector productivo. Se examinarán, además, tanto los instrumentos de apoyo financiero disponibles para empresas que deseen entrar en el campo de la biotecnología, como las formas de adquisición y de transferencia de tecnología desde el extranjero. <sup>3/</sup>

### 1. El sistema nacional de ciencia y tecnología

Aproximadamente desde 1940, México comenzó su proceso de industrialización, basado, principalmente, en una política económica que sostuvo que el principal factor dinámico del desarrollo era la acumulación de infraestructura industrial, y que la mayor parte de los esfuerzos debía concentrarse en la creación de un sector industrial moderno que proveyera al mercado interno. Dicha política debía estimular la inversión y su canalización hacia sectores que promovieran la sustitución de importaciones.

La preocupación por el costo, la calidad y la adaptabilidad de la tecnología surge apenas en el momento en que la declinación en el dinamismo del mercado interno (hasta ahora siempre con altos niveles de protección) y las dificultades de las balanzas comercial y de divisas plantearon a México la necesidad de cambiar sus políticas, pasando de la sustitución simple de importaciones a otras que tiendan a fomentar las exportaciones de una parte de la producción manufacturera. Es entonces cuando se empezó a descubrir los inconvenientes de la incorporación no selectiva de conocimientos y la imposibilidad de disminuir la dependencia externa, si no se hacía un esfuerzo científico y tecnológico propio más intenso y orientado, sobre todo ante los profundos cambios tecnológicos que, a nivel mundial, se están y se seguirán presentando.

Así, se comenzaron los esfuerzos para formar un sistema científico y tecnológico adecuadamente integrado con el sector productivo mexicano, a

---

<sup>3/</sup> Este capítulo es una versión adaptada de la contribución que hicieron José Luis Solleiro y Mario Waissbluth al documento "Objetivos, Prioridades y Estrategias de la Cooperación Técnica Internacional de México", publicado por la Secretaría de Relaciones Exteriores en 1987.

través de la intervención de algunos de sus elementos, que se mencionan a continuación:

- Universidades
- Institutos y centros de investigación y desarrollo
- Empresas productivas
- Firmas de ingeniería
- Fabricantes de bienes de capital
- Agencias de servicios tecnológicos
- Organizaciones financieras
- Organismos regulatorios

En México existen prácticamente todos los eslabones de la cadena detallada en las líneas anteriores. Sin embargo, cada uno presenta distorsiones que, aunadas a la escasa vinculación entre ellos, disminuyen el potencial de elaboración de paquetes tecnológicos adaptados a las condiciones de la economía nacional, colocando al país ante la necesidad de seguir recurriendo a la tecnología extranjera, que no siempre ha sido concebida para dar solución a problemas propios del sector productivo mexicano. A los pagos de regalías por concepto de explotación de conocimientos, se agregan los conceptos de asistencia técnica, uso de marcas, transferencia de utilidades entre empresas filiales, e importación de bienes de capital, que superan en más de 10 veces los pagos directos por tecnología. La tecnología proveniente de países industrializados, sin adaptación alguna, rara vez está adecuada al costo real de factores de la planta productiva mexicana.

## 2. La planeación de la ciencia y la tecnología en México

En 1970 se creó el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con dos funciones básicas: a) asesorar al Ejecutivo en las actividades relacionadas con la investigación y desarrollo, los servicios de infraestructura y apoyo, la importación de tecnología y la formación de recursos humanos, y b) financiar proyectos de becas, infraestructura e investigación científica y tecnológica.

En 1984 se aprueba el nuevo Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico, 1984-1988 (PRONDETYC). El estado actual del sistema de ciencia y tecnología ha sido diagnosticado en el PRONDETYC, destacándose los siguientes factores:

- Falta de capacidad de las empresas pequeñas y medianas para detectar sus requerimientos tecnológicos, así como baja capacidad económica para acudir a las empresas de consultoría e ingeniería y a los centros de investigación y desarrollo.

- Carencia de mecanismos de normalización, estandarización y control de calidad.

- Débil difusión interna de las innovaciones.

- Mercados internos cautivos, poco propicios para promover la innovación tecnológica.

- Desvinculación entre los sectores productivos y los centros de investigación, así como falta de capacidad en el eslabón intermedio de las firmas de consultoría e ingeniería.

- Escasez de recursos humanos de alto nivel en el sector productivo y poca actividad de investigación en su interior.

- Marcada preocupación por los problemas tecnológicos de corto plazo.

- Bajo nivel de modernidad tecnológica en la mayor parte de las ramas industriales del país.

- Falta de comprensión cabal del sector industrial sobre el factor de riesgo que involucra todo proceso de innovación tecnológica y un desconocimiento de parte de los investigadores sobre los requerimientos y limitantes de los industriales.

A fines de 1984, se promulgó la ley para coordinar y promover el desarrollo científico y tecnológico, con el propósito de promover e impulsar la investigación científica y el desarrollo tecnológico mediante un sistema nacional de ciencia y tecnología. Esta ley establece un reordenamiento respecto a la coordinación institucional, y otorga a la Secretaría de Programación y Presupuesto la coordinación del sistema, actuando el CONACYT como un órgano especializado de ella. Las acciones se ajustan a las disposiciones de la Comisión para la Planeación del Desarrollo Tecnológico y Científico, dirigida también por la SPP.

### 3. Recursos humanos para la ciencia y la tecnología

El sistema nacional de ciencia y tecnología no dispone de suficientes recursos humanos en cantidad y calidad, tanto en términos absolutos como en comparación con muchos otros países de similar nivel de desarrollo. Actualmente, según cifras establecidas por el CONACYT, existen 16,000

investigadores dedicados a actividades de investigación y desarrollo experimental y aproximadamente 80,000 ingenieros activos en labores técnicas y productivas del sector industrial. Estudios recientemente realizados por el CONACYT revelan que, además, existe una excesiva concentración geográfica e institucional de los recursos para la ciencia y la tecnología. En 1984, sólo cuatro entidades federativas (Distrito Federal, Edo. de México, Nuevo León y Jalisco) concentraban el 52.7% de las instituciones y el 80.4% del personal dedicado a investigación y desarrollo.

En 1984, el Estado creó el Sistema Nacional de Investigadores, que otorga estímulos económicos a los científicos activos, siendo éstos mayores para los investigadores que se desempeñan en centros de investigación ubicados en la provincia. Además, recientemente, este sistema ha incorporado el apoyo a aquellos que se dedican al desarrollo de tecnología e ingeniería. Cabe hacer notar que sólo un 25% de los investigadores del país ha tenido acceso a los beneficios de este sistema.

#### 4. Tecnología en la industria

En México persiste la escasa participación del sector productivo en el desarrollo tecnológico, debido, en buena medida, a la falta de tradición y cultura tecnológicas y a que se ha recurrido mayormente al pago de regalías por tecnologías importadas. En este sentido, el Estado ha emprendido algunas acciones para fomentar la asignación de recursos para la investigación y desarrollo en las empresas, principalmente a través del establecimiento de apoyos fiscales para proyectos de desarrollo tecnológico. El 11 de agosto de 1987 se publicó en el Diario Oficial el decreto que establece los estímulos fiscales para fomentar la investigación, el desarrollo y la comercialización de tecnología nacional.

Mediante este instrumento, las instituciones de investigación podrán contar con un crédito contra impuestos equivalente al 20% de la inversión y equipo u optar por un subsidio del 100% de los impuestos de importación. Asimismo, este crédito se le otorgará a empresas tecnológicas, incluyendo las inversiones en edificios de investigación.

Por otro lado, las empresas podrán tener este crédito hasta por el 20% de todos sus gastos de investigación, y de 30% en el caso de la pequeña industria. Finalmente, podrán recibir el 15% del valor de las adquisiciones de tecnología mexicana que efectúen y el 20% si son industrias pequeñas.



Cabe destacar que la mayor parte de los beneficios serán retroactivos al 1o. de enero de 1986.

Este es un buen instrumento de apoyo al desarrollo científico y tecnológico nacional, así como a la vinculación entre productores y consumidores de tecnología dentro del país. Es necesario aumentar la cuota relativa de esfuerzo que el sector productivo haga para desarrollar su propia tecnología, y de esta forma las empresas podrán contar con un incentivo más para realizar y contratar proyectos de investigación.

##### 5. Gasto en investigación y financiamiento para el desarrollo tecnológico

El instrumento directo más importante para fomentar e impulsar las actividades científicas y tecnológicas es la asignación de un presupuesto adecuado para la investigación y desarrollo. En México, como puede observarse en el gráfico 1, se ha dedicado, en los últimos años, un mayor porcentaje del producto interno bruto a estas actividades, aunque todavía no se alcanzan los niveles deseables para atender las necesidades del desarrollo del país y la formación de los cuadros científicos y técnicos requeridos. La organización de las Naciones Unidas ha recomendado un gasto del uno por ciento del PIB para países con un grado de desarrollo como el de México.

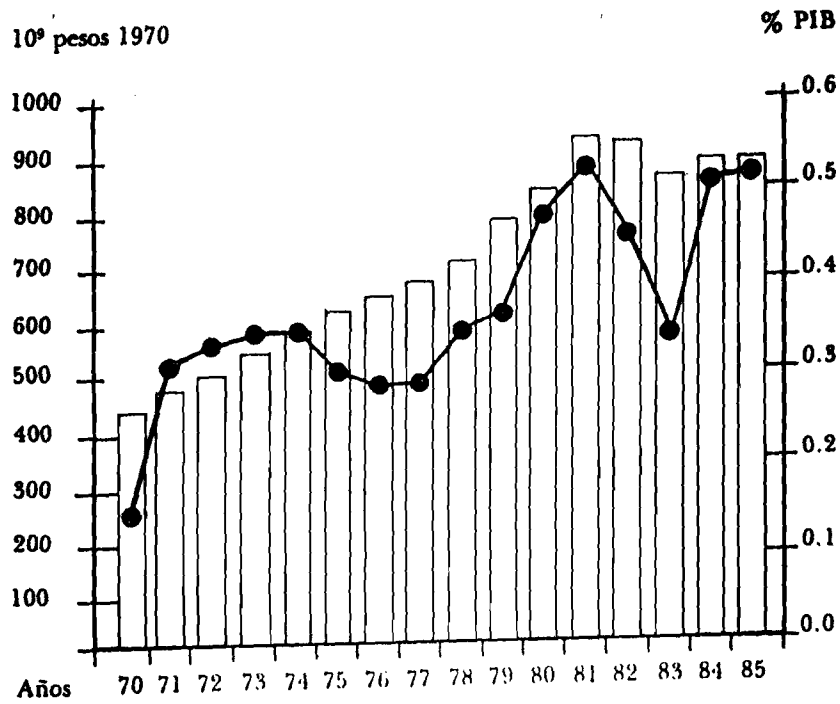
Por otro lado, el gráfico muestra claramente cómo la tendencia al incremento en los años 1970-1980 se estancó a partir de los ochenta.

Actualmente, existen varios instrumentos de financiamiento para el desarrollo tecnológico, como el Fondo de Equipamiento Industrial (FONEI) y los Fideicomisos Instituidos en relación con la Agricultura (FIRA), ambos del Banco de México, el Fondo para el Fomento de las Exportaciones de Productos Manufacturados (FOMEX), el Fondo Nacional de Estudios y Proyectos (FONEP), y el Fondo de Fomento Industrial (FOMIN) de Nacional Financiera, y el Programa de Riesgo Compartido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Este último es el único con fines exclusivos de desarrollo tecnológico.

La cobertura de los fondos ha ido en aumento en los últimos años. En efecto, se han apoyado financieramente más proyectos y más acciones tecnológicas dentro de ellos. Así, el Programa de Apoyo Financiero al Desarrollo Tecnológico de FONEI y el Programa de Riesgo Compartido de CONACYT pasaron de apoyar 28 proyectos en 1981, por un total de 3,800 millones de pesos (de 1984), a 162 proyectos en 1984, por un total de 4,500 millones de pesos.

Gráfico 1

PRODUCTO INTERNO BRUTO Y GASTO DEL GOBIERNO  
FEDERAL EN CIENCIA Y TECNOLOGIA, 1970-1985



□ PIB

● GGFCYT (% PIB)

Para 1986, el FONEI ya se había convertido en el principal instrumento de apoyo al desarrollo tecnológico del país, financiando proyectos por valor de 14,000 millones de pesos. Su modalidad consiste en absorber, total o parcialmente, el riesgo de los proyectos, otorgando financiamientos a tasas de interés ligeramente menores a las de mercado, y subsidiando hasta el 30% del valor de los mismos, en caso de tener éstos un alto mérito tecnológico.

#### 6. Articulación del sistema de ciencia y tecnología con otros instrumentos del gobierno federal

Para reforzar los apoyos destinados al desarrollo del sistema científico y tecnológico en México, es imprescindible mejorar la coordinación con las disposiciones de otros sistemas, que establecen instrumentos implícitos de política, los cuales, si bien no han sido concebidos para provocar un impacto directo sobre variables científico-tecnológicas, tienen efectos muy importantes sobre el primero.

En este sentido, es necesario fortalecer la vinculación entre los instrumentos directos de política científica y tecnológica y las políticas de cooperación técnica internacional, de comercio exterior, de compras estatales, de normalización industrial y crediticia. Estas políticas son fundamentales para impulsar el desarrollo tecnológico industrial, debido a su impacto sobre parámetros de competitividad técnica, de mercado y de costo del dinero que pueden representar un incentivo muy poderoso para que las empresas decidan mejorar su situación, emprendiendo proyectos de desarrollo de tecnología, ya sea en sus propias instalaciones, o en colaboración con centros de investigación nacionales.

#### 7. La transferencia de tecnología

En vista de las condiciones actuales de desigualdad mundial, en cuanto al progreso técnico, la transferencia de tecnología seguirá siendo por mucho tiempo un mecanismo importantísimo de provisión de conocimientos para la producción.

México estableció, desde 1972, la obligación de inscribir los contratos de transferencia de tecnología con el fin de sujetarlos a un examen y eliminar algunos de los abusos en los que se incurría con frecuencia en tales acuerdos. En enero de 1982, se revisó la Ley sobre el Registro de la Transferencia de Tecnología y el Uso y Explotación de Patentes y Marcas

(LRTT), tratando de adoptar una posición más agresiva de promoción del desarrollo y absorción de tecnológicas internas. En este sentido, se procura mejorar la capacidad del país en cuanto a la toma de decisiones con respecto a la selección, compra, adaptación y asimilación de tecnología.

Con relación a la selección de tecnologías importadas, es necesario diversificar las fuentes proveedoras, ya que se ha recurrido preponderantemente a algunos países, según se muestra en el cuadro 14.

Asimismo, el registro está intentando promover la adecuada asimilación de la tecnología, la cual requiere que la empresa usuaria organice un sistema de documentación, capacitación y actualización de su personal, con el fin de llegar al dominio de la tecnología, sin necesidad de recurrir, con tanta frecuencia como hasta ahora, a la asistencia técnica del proveedor. En el cuadro 15 puede notarse la alta incidencia de este factor en los contratos de fechas recientes. Se puede observar también la baja incidencia de las patentes en el proceso de adquisición de tecnologías.

En lo que respecta a los sectores que más recurren a la importación de tecnología, destaca el de la industria manufacturera, donde las ramas de productos metálicos, maquinaria y equipo, así como sustancias químicas, derivados del petróleo, productos de caucho y plástico, contribuyen con un alto porcentaje de los contratos. (Véase el gráfico 2.)

#### 8. Servicios de apoyo al desarrollo tecnológico

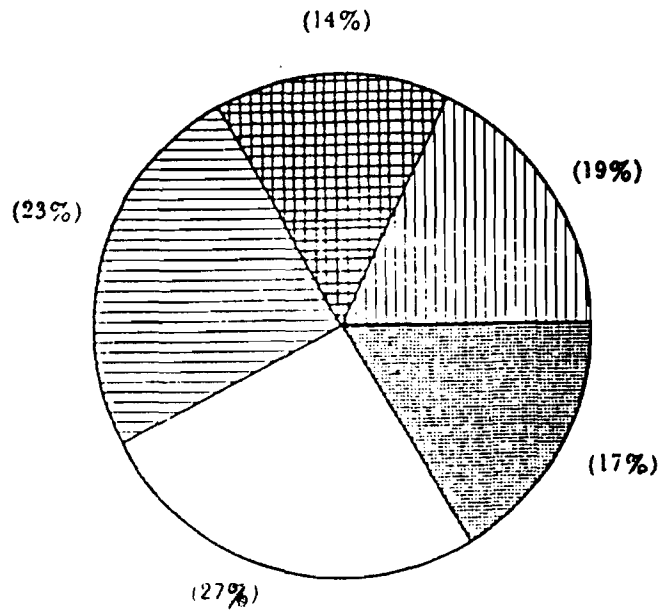
El desarrollo de tecnología, así como su adaptación y asimilación, requieren, con frecuencia, de la interacción de agentes tecnológicos proveedores de la ingeniería del proyecto, la información especializada requerida y el diseño de los equipos para la planta.

En México, desde el punto de vista de la oferta, las firmas locales de ingeniería han logrado adquirir una adecuada capacidad técnica en algunas ramas como la ingeniería civil, y en ciertos campos de la industria química. Se ha logrado dominar las fases de ingeniería de detalle y diseño de procesos; sin embargo, persiste aún la carencia de capacidad en la fase de ingeniería básica, ingeniería industrial y en el diseño de maquinaria. Por ello, es necesario reforzar y fomentar la vinculación entre las firmas de ingeniería y los centros de investigación nacionales, de manera que la demanda de ingeniería básica y de equipo se oriente cada vez más hacia la oferta interna. Asimismo, con el aumento de la demanda por sus servicios, se

Gráfico 2

INDUSTRIA MANUFACTURERA MEXICANA

(Contratos de transferencia de tecnología por rama en 1984)



ALIMENTARIA

SUSTANCIAS QUÍMICAS

TEXTILES

PRODUCTOS METÁLICOS Y MAQUINARIA

OTROS

logrará que las firmas de ingeniería y consultoría se especialicen en campos determinados, aumentando así su calidad y confiabilidad.

Por su parte, los servicios de información y asistencia técnicas se ampliaron considerablemente durante la década de los setenta bajo la iniciativa y patrocinio del Estado. Así, surgieron SECOFI, el INFOTEC y los Centros Regionales de Investigación y Asistencia Técnica. Estos servicios han estado atendiendo demandas nacionales y regionales y, en varios casos, han contribuido a resolver problemas básicos de los sectores atendidos, aunque su cobertura a nivel nacional resulta aun limitada.

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de este documento, como está indicado en su título, es de proporcionar algunas orientaciones de política para el desarrollo biotecnológico en la producción agroalimentaria de México. No pretende, por lo tanto, constituir un plan detallado, ni determinar acciones con una precisión que sólo debiera ser alcanzada a través de un proceso colectivo de tomas de decisiones, con la participación de productores, académicos y funcionarios gubernamentales.

La configuración de una política de desarrollo para la biotecnología agropecuaria se plantea a continuación en cuatro fases. La primera de ellas es el planteamiento de algunas premisas básicas. La siguiente es una síntesis-diagnóstico de carácter estructural: cuáles son las fuerzas y debilidades internas del país en esta materia, y cuáles son las amenazas y oportunidades que se perfilan en el futuro en casos de implementarse (o no) determinadas políticas. Posteriormente, se establecen las prioridades temáticas centrales que debieran perseguirse, con el objeto de utilizar las fuerzas, paliar las debilidades, prevenir las amenazas y aprovechar las oportunidades. Finalmente, se plantean algunos instrumentos institucionales para implementar las políticas.

### 1. Premisas básicas

En el análisis que se presenta a continuación, destacan algunas premisas fundamentales: la primera consiste en que en los países desarrollados se está configurando una verdadera revolución tecnológica en el sector agropecuario, uno de cuyos componentes fundamentales (pero no el único) es la biotecnología. Esta revolución, se quiera o no, va a llegar a México, y el conducto van a ser más las empresas transnacionales proveedoras de insumos, que los canales tradicionales de cooperación internacional. El no contar con un aparato científico fuerte, capaz de negociar lúcidamente una adaptación tecnológica acorde con las necesidades del país, puede conducir a cambios que, a pesar de incrementar la productividad de algunos cultivos, tendrán consecuencias sociales, económicas y ecológicas, cuyos efectos negativos podrán superar vastamente los beneficios económicos inmediatos.

Lo anterior significa que México debe enfrentar esta situación con un incremento drástico, cuantitativo y cualitativo, en su esfuerzo, gasto,

formación de recursos humanos, y participación del sector productivo en materia de investigación y desarrollo biotecnológico para la agricultura, la silvicultura, la ganadería y la industria alimentaria. En los últimos años, se ha evidenciado un estancamiento y hasta un cierto retroceso en el gasto nacional en ciencia y tecnología. Esto en momentos en que otros países en vías de desarrollo, como Brasil, Cuba y Corea del Sur, a pesar de la crisis, han comenzado a incrementar drásticamente sus gastos en esta materia. En México todavía no se ha comprendido cabalmente que el contar con una sólida infraestructura científica y tecnológica es un ingrediente estratégico para enfrentar la crisis y la competencia internacional. Pretender lograr la modernización y reconversión industrial y adquirir una capacidad exportadora, dependiendo totalmente de la tecnología de las mismas empresas transnacionales, con las cuales habrá que competir en el exterior, no es una señal de pragmatismo, ni de sanidad financiera, ni de austeridad.

Lo anterior no significa, de ninguna manera, cerrar las puertas al flujo de tecnología extranjera, sino más bien aprender a aprovechar, absorber, reenfocar y adaptar las oportunidades disponibles en universidades, centros de investigación y empresas extranjeras, a través de una política agresiva y bien definida de formación de recursos humanos, cooperación internacional, transferencia de tecnología, e incluso de inversión de empresas extranjeras en México y de empresas mexicanas en el exterior.

La segunda premisa fundamental es que se cometería un error en considerar a la biotecnología como la panacea para el sector agropecuario. La modernización todavía tiene mucho camino para recorrer a través de tecnologías más convencionales, que sólo podrán darse con una política adecuada de precios, de crédito, de extensionismo y de descentralización en la toma de decisiones. Es ilusorio pensar que la biotecnología servirá para "saltar etapas" en la mayor parte del sector ejidal mexicano. Una estructura agraria empobrecida, con escaso acceso al crédito, a maquinaria, o a asistencia técnica, difícilmente podrá absorber las nuevas biotécnicas, sobre todo aquellas desarrolladas en los países industrializados y que están adecuadas a una agricultura altamente tecnificada y mecanizada.

Una tercera premisa básica tiene que ver con criterios relacionados con un mejor aprovechamiento de los recursos humanos (científicos) y de las inversiones en laboratorios y plantas-piloto. Este criterio es de importancia dada la escasez de capital existente en el país, situación que se



agrava en un momento de crisis económica y que exige fijar prioridades en los planes de investigación y desarrollo de la biotecnología.

Otro criterio propuesto por el PRONADRI y el PRONAL, de la actual administración, es la obtención de una mayor autosuficiencia alimentaria nacional y, por lo tanto, una disminución de las onerosas importaciones de productos agrícolas, de alimentos y de tecnología que gravan la balanza de pagos y que impiden un desarrollo más independiente de la economía nacional.

Según este criterio, lo que hace o podría hacer la biotecnología se debería evaluar en términos de su contribución a: a) una mejor conservación de los abundantes recursos naturales renovables disponibles en el país y hoy desaprovechados y, aún peor, en vías de destrucción en varias regiones del país (tierras áridas, tierras con cierto grado de salinidad, humedad de erosión o de deforestación, tierras tropicales subutilizadas hasta ahora, sobre todo en lo que concierne a la producción agrícola); b) una mayor producción de granos básicos, leche y aceites vegetales indispensables para la dieta alimenticia del mexicano, y hoy deficitarios, y c) un mejor aprovechamiento de los subproductos agrícolas y agroindustriales en buena medida despilfarrados (esquilmos agrícolas, subproductos de las industrias azucarera, molinera, maderera, etc.). Un cuarto criterio es de naturaleza social. Los resultados de la aplicación de nuevas técnicas a la producción agrícola y alimentaria deben ser evaluados en función de que ayuden a resolver una serie de problemas que aquejan a la agricultura y a la producción de alimentos: a) la heterogeneidad estructural de la producción agrícola y agroindustrial y, más particularmente, la subsistencia de un sector campesino --ejidal y de comunidades-- de baja productividad y en creciente pauperización y desnutrición. Esto es más grave aún si se toma en cuenta que la agricultura campesina se especializa, de hecho, en la producción de granos básicos hoy deficitarios; b) la adopción creciente, sobre todo por la población urbana, de un patrón de consumo alimenticio centrado en proteínas animales y cereales, como trigo, aderezado de alimentos transformados de alto precio en función de su aporte energético, patrón que exige la importación de materias primas deficitarias (soya, sorgo, etc.) y sustituye a la dieta tradicional y nutricionalmente equilibrada, basada en maíz y proteínas vegetales (frijol), y c) el alto grado de desempleo y/o subempleo que podría ser corregido o, al revés, agravado según fuese el tipo de biotécnicas desarrolladas en el país o importadas del exterior.

## 2. Recomendaciones para una planeación estratégica: fuerzas, debilidades, amenazas y oportunidades

A continuación, se tratará de hacer una breve síntesis del diagnóstico de la biotecnología presentado en este informe. Esto se hará tomando en cuenta los criterios arriba señalados, y siguiendo la filosofía de la planeación estratégica.

### a) Las fuerzas

i) México cuenta con una larga tradición y un buen número de investigadores en temas afines a la biotecnología agropecuaria: medicina, bioquímica, biología, agronomía, microbiología. Esto significa que hay un potencial para reencauzar parte de estos recursos y estas instituciones hacia el desarrollo de esta disciplina.

ii) En el terreno propiamente biotecnológico existe ya una capacidad interesante en fermentaciones y en micropropagación de plantas.

iii) Existen, a nivel productivo, sistemas con un desarrollo dinámico y moderno en aves, puercos, alimentos balanceados y agroindustria conservera, así como una abundante provisión de fertilizantes para el agro.

iv) A nivel de recursos naturales, existe una vasta frontera agrícola en materia de tierras semiáridas y tropicales, actualmente subexplotadas o inexplotadas.

v) En materia de instrumentos institucionales, existen mecanismos de préstamos de riesgo en CONACYT y FONEI, que facilitan a las empresas el entrar en esquemas de investigación, absolutamente imprescindibles para el desarrollo productivo en esta materia.

vi) Geográficamente, la cercanía al mercado y la tecnología de los Estados Unidos proporciona una ventaja comparativa susceptible de ser explotada positivamente.

### b) Las debilidades

i) La debilidad fundamental es la precaria capacidad productiva, tecnológica y organizativa del sector ejidal, que representa cerca del 50% de la tierra disponible. Los sistemas de extensionismo, fundamentalmente estatales, tienen grandes dificultades para contribuir a la modernización de este sector.

ii) Hay escasa investigación en aspectos fundamentales de la biotecnología, como es la fusión celular y el DNA recombinante. La investigación en biotecnología pecuaria es mínima, existiendo virtualmente oposición al tema en algunos sectores. Esto, a pesar de que el sector pecuario es el que está recibiendo los beneficios más inmediatos de la biotecnología en el mundo industrializado. En general, el gasto en I&D y los recursos humanos en esta materia son extraordinariamente reducidos.

iii) A pesar de existir varios posgrados en la materia, hay un serio problema de ausencia de interdisciplina. Agrónomos y biólogos prácticamente no interactúan, ya sea a nivel de investigación o de docencia.

iv) No existen instancias por las cuales los científicos, los productores y el gobierno puedan encontrarse, sistemáticamente, para conducir la toma de decisiones en esta materia. De hecho, no ha habido planificación alguna de la investigación, lo cual ha impulsado a la mayoría de los investigadores, formados en el extranjero, a repetir, con variantes menores, las experiencias de los países de origen.

v) Hay ineficiencia tecnológica y productiva en dos sistemas fundamentales: caña y maíz. Esto se suma al déficit comercial existente en sorgo y soya, y a la presencia de una ganadería extensiva que ocupa tierra que pudiera ser muy valiosa para lograr la autosuficiencia alimentaria.

vi) Hay un débil mecanismo para la difusión y comercialización de las nuevas semillas mejoradas, generadas en el país. De no corregirse esto, todas las nuevas variedades genéticas que se desarrollen podrían correr la suerte de convertirse en curiosidades de laboratorio, como ya ha sido el caso para variedades de granos desarrolladas por técnicas convencionales.

vii) Existe, en general, escasa articulación entre la agricultura y la industria del país, tanto a nivel de la producción de insumos para la agricultura (que es baja comparada con las necesidades), como a nivel de la transformación industrial de los productos agropecuarios.

viii) A pesar de que existen préstamos de riesgo para investigación, prácticamente no hay esquemas de capital de riesgo. La biotecnología se difundirá más a través de nuevas empresas que a través de las ya existentes, y un esquema de este tipo parece imprescindible para su desarrollo.

c) Las amenazas

i) Se puede producir un fenómeno de oligopolización (especialmente transnacional) en la producción de insumos agropecuarios, debido a los grandes recursos invertidos por las empresas transnacionales. Este fenómeno se agravaría, en caso de que se llegara a autorizar en México el patentamiento de plantas y animales, pues la mayoría de las nuevas variedades serían controladas en su comercialización por unas pocas empresas.

ii) Se puede profundizar el fenómeno de la modernización heterogénea del campo, con un sector de pequeños propietarios moderno y tecnificado y un sector ejidal rezagado y de subsistencia. La tendencia internacional de desarrollo de biotecnologías no ha estado, en lo general, orientada a favorecer los cultivos en pequeña escala y de poca mecanización.

iii) De fomentarse indiscriminadamente las biotecnologías generadas en el exterior, se agudizarán los problemas de desempleo rural, pues se están desarrollando técnicas orientadas, fundamentalmente, a facilitar la mecanización del campo.

iv) En ausencia de una legislación y vigilancia adecuada, México podría convertirse en un eventual "territorio de prueba" para todo tipo de microorganismos, plantas y animales modificados genéticamente en otros países, con consecuencias sanitarias y ecológicas difíciles de prever.

v) En los mercados internacionales, la sustitución de productos a través de la biotecnología ya produjo el colapso del precio del azúcar. Este fenómeno se puede extender a importantes cultivos mexicanos de exportación, como el café, el cacao e incluso los camarones, cuyos sabores son relativamente fáciles de reproducir en condiciones controladas.

vi) Se puede producir un incremento indiscriminado en el consumo de pesticidas y herbicidas, con el consecuente deterioro del ambiente. Asimismo, a menos que se tomen medidas específicas al respecto, se puede producir un empobrecimiento de la base genética de los cultivos más extendidos de México, a través de la utilización masiva de unas pocas variedades mejoradas.

vii) De no adoptarse una política de modernización del campo e introducción de nuevas biotecnologías, acordes con las necesidades de México, se producirá un deterioro en la seguridad alimentaria del país. Los incrementos de productividad agropecuaria que se darán internacionalmente, si

no son reflejados en el campo mexicano, ocasionarán la pérdida de competitividad internacional de la agricultura y la ganadería mexicanas.

d) Las oportunidades

i) Lograr un importante incremento en los rendimientos agrícolas y forestales, acelerando, significativamente, los procesos de reforestación y contribuyendo a mejorar la autosuficiencia alimentaria.

ii) Lograr un importante incremento en la productividad pecuaria, incluida la posible solución expedita al déficit lácteo del país, mediante el uso de hormonas de crecimiento y el rápido mejoramiento del hato ganadero.

iii) Desarrollar nuevas variedades de plantas que no están siendo estudiadas en otras partes del mundo, lo que permitiría incrementar el aprovechamiento de tierras salinas, semiáridas y de alta humedad, con la consecuente disminución de presiones sobre el conflicto de tenencia de la tierra.

iv) Un mejor aprovechamiento del mercado norteamericano de hortalizas, frutas y alimentos "orgánicos".

v) Un manejo racional de los pesticidas, a través de la combinación juiciosa de métodos de control biológico, microbiológico y químico de las plagas.

vi) Un mejor aprovechamiento de subproductos y esquilmos de la producción agropecuaria y agroindustrial, sobre todo con vistas a la reducción del déficit en insumos para la producción de alimentos balanceados.

vii) Debido a un aumento sustantivo en la productividad en campo y en industria, cosa que parece alcanzable, los derivados de la caña de azúcar podrían utilizarse para paliar los problemas de contaminación del Distrito Federal a través de la producción de etanol (que sustituya parte de la gasolina) y el déficit comercial en pulpa de celulosa y alimento para ganado mediante el bagazo y las mieles incristalizables.

viii) El desarrollo de una base biotecnológica propia podría darle a México una plataforma para la exportación de tecnología y servicios técnicos. El país tiene una oportunidad única, por sus recursos y localización de aprovechar los conocimientos de los países industrializados, adaptarlos y reexportarlos en forma de tecnología y bienes de capital a otros países del tercer mundo.

ix) La biotecnología podría servir como "punta de lanza" para la modernización y la descentralización institucional del sistema de investigación y extensión agropecuaria del país, contribuyendo a la creación de nuevas instituciones públicas y privadas que agilicen y modernicen el sistema actual, que presenta graves deficiencias organizacionales y administrativas.

x) La biotecnología puede ser un buen canal para fomentar la colaboración científica y la integración productiva de América Latina. Hasta ahora, los actos de integración de México con América Latina han sido más bien rituales. Las nuevas tecnologías generan nuevas formas institucionales, a nivel nacional e internacional. Este puede ser el momento para lograr la integración de entidades académicas y empresas en el campo biotecnológico.

### 3. Opciones existentes y prioridades recomendadas en el desarrollo de la biotecnología

El sistema productivo y de investigación de México es lo suficientemente descentralizado como para no admitir una planificación rígida, una definición a priori, de lo que se debe o no se debe desarrollar. Por ejemplo, si un determinado sector de agricultores decide introducir técnicas intensivas en capital y eliminadoras de mano de obra, será difícil, si no imposible, impedirlo pues habrá una racionalidad microeconómica detrás de estas decisiones.

De lo que se trata es de establecer un sistema inductivo, con los suficientes incentivos financieros, y la adecuada disponibilidad de recursos humanos, como para que la tecnología se desarrolle preferentemente en ciertas áreas prioritarias, que se sugieren a continuación:

- a) Aprovechamiento de tierras salinas, semiáridas y tropicales.
- b) Incremento a los rendimientos por hectárea, fundamentalmente en caña, maíz, sorgo y soya.
- c) Alimento animal y aprovechamiento de esquilmos.
- d) Reproducción y salud animal.
- e) Reforestación.
- f) Creación, fortalecimiento y coordinación de bancos de germoplasma nacionales e internacionales.
- g) Manejo integral de pestes y alelopatía en plantas.

- h) Investigación básica en fusión celular, DNA recombinante, anticuerpos monoclonales y fisiología vegetal.
- i) Rotación de cultivos y cultivos múltiples.
- j) Fertilización y fijación de nitrógeno.
- k) Reguladores de crecimiento vegetal.
- l) Diagnóstico de enfermedades vegetales. Desarrollo de plantas resistentes a enfermedades.
- m) Incrementos de calidad en cultivos de exportación: café, cacao, hortalizas y frutas.
- n) Contaminación ambiental.

Como puede observarse, hay algunos tópicos específicamente no incluidos en la lista de prioridades, a pesar de ser áreas relevantes en otros países: plantas resistentes a herbicidas, técnicas que faciliten la mecanización de deshierbe y cosecha, propagación clonal de especies de escasa importancia económica, incrementos de calidad en productos suntuarios o de escasa importancia económica, técnicas que induzcan un aumento en el consumo de pesticidas, cultivo de células vegetales en fermentador para producción de colorantes, aromas y sabores, sustitución de café, cacao y otros productos vegetales.

#### 4. Instrumentos de política

Una vez hecho el análisis sobre las fuerzas y debilidades del desarrollo biotecnológico actual y sobre las amenazas y las oportunidades que se presentan en el futuro, y habiendo identificado las áreas temáticas que debieran constituir prioridades congruentes con ese diagnóstico, es conveniente señalar los instrumentos de política gubernamental e institucional, estimados necesarios para llevar adelante las prioridades marcadas.

##### a) Planeación

Es conveniente institucionalizar un Plan de Desarrollo de la Biotecnología Agropecuaria, sancionado e instrumentado por el gobierno, y que cuente con la participación activa de productores, centros de investigación y gobiernos estatales en su formulación y ejecución. De hecho, después de la formulación de un plan a nivel nacional, se debiera contemplar un plan a nivel de cada una de las regiones agropecuarias más importantes del país,

descentralizando los recursos para su ejecución. Un plan de esta naturaleza debiera trascender las convencionales expresiones de buenos deseos, y fijar metas muy específicas, asignando los recursos adecuados, diseñando las estrategias e instrumentos de política, y definiendo las instituciones --nuevas o existentes-- necesarias para ejecutarlo, y evaluar los resultados.

b) Financiamiento

Se propone la creación de un Fondo de Desarrollo de la Biotecnología Agropecuaria, con aportaciones federales, y administrado por un Comité que cuente con participación de CONACYT, INIFAP, las principales universidades, los productores agropecuarios y los productores de insumos. Dado que el gasto nacional en investigación agropecuaria es del orden de 1.4% del producto rural bruto, se estima que este Fondo, si ha de contribuir significativamente al redireccionamiento tecnológico del sector, debiera considerar un gasto, al cabo de dos o tres años, de por lo menos 0.1% del PRB, es decir, del orden de 20 millones de dólares. Este Fondo debería financiar en las áreas prioritarias señaladas anteriormente:

- Infraestructura
- Investigación básica
- Aportaciones de capital de riesgo
- Becas
- Intercambio con otros países de América Latina

La cantidad de 20 millones de dólares anuales es de una magnitud mayor de lo que el país gasta actualmente en esta área. Eso pudiera parecer mucho. Sin embargo, es 10 veces menos de lo que gasta una sola gran empresa transnacional en biotecnología agrícola. No asignar estos recursos significaría, en gran medida, volver a caer en los planes rituales de escasa trascendencia.

En particular, las contribuciones al Fondo que se dediquen a investigaciones sobre manejo integral de pestes y a contaminación ambiental podrían financiarse con base en un impuesto a la venta de pesticidas y herbicidas.



c) Educación

Se considera fundamental la creación o fortalecimiento de los posgrados en biotecnología agropecuaria, en los que se garantice la participación interdisciplinaria de biólogos, agrónomos, veterinarios, ingenieros y economistas. Los países industrializados ya reconocieron el error cometido en la década de los setenta al no fomentar la interdisciplina en esta materia. México está, al menos en esta ocasión, en condiciones de evitar transitar por la misma senda errónea.

d) Descentralización de la investigación y extensión

Se considera de fundamental importancia profundizar el proceso de descentralización institucional de INIFAP, vinculándolo en cada región en forma orgánica y financiera con las universidades, los centros de investigación y los sistemas de extensión, y dándole a los productores y organizaciones campesinas de cada región una mayor injerencia en las decisiones. Este proceso de descentralización y de desburocratización de la SARH —lo que implica aumentar la calidad de los promotores y extensionistas en sustitución de parte del personal burocrático-administrativo— podría experimentarse en forma piloto en regiones donde la infraestructura de producción y de investigación es importante, como es por ejemplo el caso del Bajío. Este esquema también debiera considerar una reestructuración y descentralización de la Productora Nacional de Semillas pues, de lo contrario, las nuevas variedades mejoradas podrán, al igual que en otras épocas, terminar desaprovechadas y deterioradas genéticamente.

e) Creación de empresas clave

Una buena parte del desarrollo tecnológico y productivo del sector debe darse a través de la creación de empresas mixtas, que forman parte necesaria de la nueva institucionalidad a la que nos hemos referido. A continuación se mencionan tres ejemplos atractivos:

i) Una o varias empresas de micropropagación agrícola y forestal, que aprovechen la abundante capacidad instalada de investigación y que operen en forma descentralizada en la República, con canales adecuados de mercadotecnia, extensionismo y demostración. Empresas de este tipo requieren

de poca inversión fija, pero abundante capital de trabajo, y podrían ser enteramente financiadas con capitales nacionales, públicos y privados.

ii) Una empresa de biotecnología pecuaria, orientada fundamentalmente a hormonas de reproducción y crecimiento y a transferencia de embriones. Al igual que en el caso anterior, el adecuado mercadeo y extensionismo son fundamentales. En este sentido, se pudiera considerar la asociación con alguna pequeña empresa extranjera de alta tecnología, pues será imprescindible comprar y adaptar tecnología foránea.

iii) Una empresa dedicada a la manufactura y venta de kits, diagnósticos basados en anticuerpos monoclonales y sondas de DNA, para el sector agrícola y pecuario. En este caso, pudiera ser una empresa mixta de capital nacional, con diversos contratos de transferencia de tecnología dentro y fuera del país.

Un rasgo común de cualquiera de estas empresas es que debieran dedicar, en forma permanente, un alto porcentaje de sus ventas (del orden del 10%) a investigación y desarrollo. En caso contrario, su vida sería muy efímera, dado el alto grado de competencia internacional en esta materia. Asimismo, estas empresas serían excelentes conductos para buscar canales de coinversión con empresas latinoamericanas, principalmente de Brasil y Argentina, en campos afines.

f) Patentes

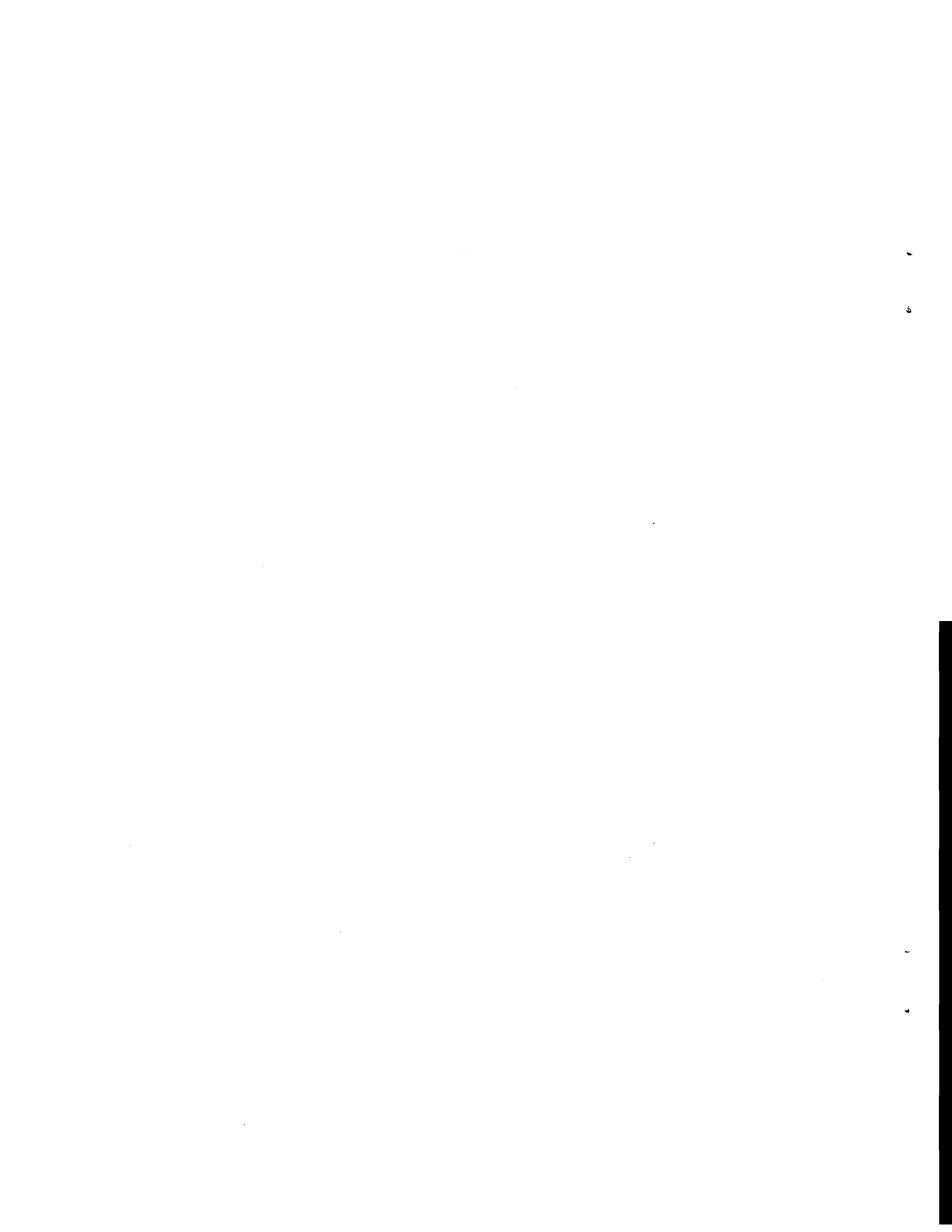
La reciente modificación a la ley mexicana de patentes, descrita en este documento, pudiera considerarse como una transacción adecuada frente a las fuertes presiones comerciales que los países industrializados ejercieron para lograr su cambio. Sin embargo, todo hace prever que esta presión continuará, y de hecho ya hay indicios de que esto está ocurriendo. Es muy importante, en esta etapa del desarrollo de México, no ceder en ningún rubro adicional y, particularmente, en lo referente a autorizar el patentamiento de plantas y/o animales. De ocurrir esto, se produciría una drástica concentración y oligopolización transnacional en la producción de insumos para el sector agropecuario, con sus consecuentes impactos económicos y de pérdida de autonomía.

g) Regulaciones

Es importante crear un mecanismo normativo, apoyado en una ley, para regular y vigilar la introducción indiscriminada al ambiente de microorganismos, animales y plantas modificadas genéticamente. A la vez, es conveniente asegurar que esta vigilancia no se convierta en una maraña de obstáculos burocráticos a la investigación y el desarrollo. Se propone la creación de un Consejo, coordinado por la Secretaría de Salud, con la participación de otras secretarías pertinentes, como por ejemplo la SEDUE y la SARH, que tenga la atribución legal única para autorizar la liberación.



Quadros estadísticos e informação geral



Cuadro 1  
**REVOLUCION VERDE Y BIORREVOLUCION**

Características	Revolución Verde	Biorrevolución
Cultivos afectados	Trigo, arroz, maíz	Potencialmente todos, incluidos verduras, frutas, cultivos de agroexportación (aceite de palma, cacao, azúcar, café, etc.) y otros (especies)
Otros productos afectados	Ninguno	Productos animales, farmacéuticos, agroquímicos, alimentos, energía
Zonas afectadas	Algunas en países en desarrollo (tierras irrigadas y de alta calidad, con transportes, etc.)	Todas, incluidas tierras marginales (semidesérticas, con salinidad, tóxicas por aluminio, etc.)
Desarrollo y difusión de tecnología	En gran medida por el sector público o semipúblico	Mayormente por el sector privado (empresas transnacionales y empresas nuevas)
Propiedad	Patentes y protección de las variedades de plantas generalmente poco importantes	Procedimiento y productos patentados y protegibles (no sólo variedades sino plantas)
Costos financieros de la investigación	Bajo	Alto
Capacitación exigida	Reproducción tradicional de plantas y ciencias agrícolas paralelas	Especialización en biología celular y molecular, más capacitación general en reproducción de plantas
Cultivos desplazados	Ninguno (excepto recursos de germoplasma de variedades y especies silvestres)	Potencialmente todos

**Fuente:** Buttel, Kenney y Kloppenburg, 1985.

Cuadro 2

Compañía	Millones de dólares		Porcentaje derivado de la venta del producto
	Ventas	Ganancias	
Genentech	90	+6	6
Cetus	57	+1	2
Amgen	23	+1	4
Centocor	22	-4	31
Biogen	21	-19	-
Genetics	21	-2	-
Genex	17	-16	81

**Fuente:** Chemical Economy & Engineering Review (25).



Cuadro 3

**AREAS DE ACTIVIDAD DE LAS COMPAÑIAS NORTEAMERICANAS  
EN BIOTECNOLOGIA AGROPECUARIA, POR SECTOR**

	Agricultura	Proceso alimentos	Pesticidas	Veterinario
<b>Total</b>	<b>110</b>	<b>66</b>	<b>42</b>	<b>106</b>
Cultivo celular	70	33	26	76
Fusión celular	48	23	19	60
Fermentación	60	42	27	46
Enzimas	44	34	22	40
Control	17	9	9	14
Purificación y separación	46	31	18	52
DNA recombinante	58	33	28	52
Síntesis y secuencia de genes	57	30	29	46

**Nota:** Las unidades son empresas que a veces tienen múltiples actividades.

## Cuadro 4

**INSTITUCIONES Y EQUIPOS DE INVESTIGACION DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL Y DE PRODUCCION DE MATERIALES VEGETALES MEDIANTE USO DE BIOTECNICAS**
**UNIVERSIDADES**

1. Departamento de Bioquímica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
2. Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV), Instituto de Biología, UNAM.
3. Laboratorio de Biología Molecular de Plantas, Centro de Investigaciones sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN), UNAM, Cuernavaca, Mor.
4. División de Ciencias Químico-Biológicas, UNAM, ENEP-Zaragoza.
5. Laboratorio de CTV, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L.
6. Laboratorio de CTV, Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICTUS), Universidad de Sonora.

**UNIVERSIDADES AGRICOLAS**

7. Laboratorio de Biotecnología, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México.
8. Laboratorio de Embriogénesis, Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados de Chapingo.
9. Laboratorio de Micropropagación, Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados de Chapingo.
10. Sección de Bioquímica, Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados de Chapingo.
11. Laboratorio de CTV, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo.
12. Laboratorio de CTV, proyecto "Fito-INIA", Universidad Autónoma de Chapingo.
13. Laboratorio de CTV, Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah.

**INSTITUTOS CIENTIFICO-TECNOLOGICOS Y CENTROS DE INVESTIGACION**

14. Laboratorio de CTV, Departamento de Biofísica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Instituto Politécnico Nacional (IPN).
15. Laboratorio de CTV, Departamento de Botánica, ENCB-IPN.
16. CIIDIR-IPN, Durango, Dgo.
17. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV), Unidad Distrito Federal.
18. CINVESTAV, Unidad Irapuato, Gto.
19. Departamento de Biología Experimental y Aplicada, Centro de Investigaciones Biológicas A.C. (CIB), La Paz, B.C.S.
20. División de Biología Vegetal, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY), Mérida, Yuc.
21. Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Jalisco (CIATEJ), Guadalajara, Jal.
22. Laboratorio de CTV, Centro Agrícola Experimental (CAE), Zacatepec, INIFAP, Mor.
23. Laboratorio de CTV, CAE-General Terán, INIFAP, Nuevo León.
24. Laboratorio de CTV, CAE-Pabellón, Aguascalientes.
25. Laboratorio de CTV, CAE-Laguna, Coahuila.
26. Laboratorio de CTV, Programa Nacional de la Papa, INIFAP, Toluca, Estado de México.
27. Laboratorio de CTV, Departamento de Fitoproducción, Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT), Distrito Federal.
28. Laboratorio de CTV, Departamento de Genética, INMECAFE.
29. Laboratorio de Cruzamientos Amplios, Programa de Trigo, Centro Internacional para el Mejoramiento del Trigo y Maíz (CIMMYT), Texcoco.
30. Laboratorio de Cruzamientos Amplios, Programa de Maíz, CIMMYT.

## Cuadro 4 (Conclusión)

---

**UNIDADES DE PRODUCCION PUBLICAS Y PRIVADAS DE MATERIAL VEGETAL**

31. Departamento de Fruticultura, CONAFRUT.
32. Centro de Micropropagación, Oaxaca.
33. Laboratorio de CTV, PROTIMBOS, Estado de México.
34. Tequila Cuervo
35. Biogenética Mexicana, S. A.
36. Mexicana de Micropropagación.

---

**Fuente:** Elaborado por Rosalba Casas y Karel Chambille con base en entrevistas directas, encuestas por correo y teléfono.

**Nota:** Las siguientes instituciones de investigación y de producción comercial de material genético vegetal no fueron incluidas por los autores en razón de haber terminado proyectos en el área de biotecnología vegetal o por falta de información fidedigna y reciente sobre sus actividades.

**Investigación:**

Escuela Superior de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Baja California; TABAMEX-Veracruz; Tercera Comisión Nacional de Zonas Áridas; Patronato del Maguey; ININ; CAE-Bajío, INIFAP; Laboratorio de Genética, CNIA-IMPA, Córdoba, Ver.; Unidad de Investigación Biomédica en Medicina Tradicional y Herbolaria, IMMS; Laboratorio CTV, INIFAP, Guerrero.

**Producción:**

Rancho "La Joya", Atlixco, Pue.; Rancho "El Carmen", Atlixco, Pue.; Matsumoto, S. Vicente Chicoloapan, Edo. de México; AGRIFEFOR, S.C.; Centro de Genética Forestal, y Escuela de Postgraduados de Chapingo.

Cuadro 5

AREAS DE TRABAJO DE LAS UNIDADES DE INVESTIGACION EN  
BIOTECNOLOGIA VEGETAL EN MEXICO

Unidad de Investigación	Micropropagación	Mejoramiento genético	CTV-Ind.	Estudios básicos
1. ENEP-Zaragoza, UNAM	x		x	
2. Departamento de Bioquímica, Facultad de Química, UNAM				x
3. Laboratorio CTV, Instituto de Biología, UNAM	x			
4. CIFN, UNAM				x
5. Laboratorio CTV, Universidad Autónoma de Nuevo León	x			
6. Laboratorio CTV, Universidad de Sonora	x			
7. Laboratorio de Biotecnología, Colegio de Postgraduados de Chapingo	x			x
8. Laboratorio de Embriogénesis, Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados de Chapingo	x	x		
9. Laboratorio de Micropropagación, Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados de Chapingo	x			
10. Sección de Bioquímica, Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados de Chapingo				x
11. Laboratorio de CTV, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo	x	x		
12. Laboratorio de CTV, Proyecto "Fito-INIA", Universidad Autónoma de Chapingo	x			
13. Laboratorio de CTV, Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	x	x		
14. Laboratorio CTV, ENCB	x			x
15. Laboratorio CTV, ENCB	x			
16. CIIDIR, IPN	x			
17. CINVSTAV-Irapuato	x	x		x
18. CINVSTAV-D.F.			x	
19. Departamento de Biología Experimental y Aplicada, Centro de Investigaciones Biológicas A.C. (CIB), La Paz, B.C.S.	x	x		x
20. División de Biología Vegetal, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY), Mérida, Yuc.	x	x	x	x
21. Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Jalisco (CIATEJ), Guadalajara, Jal.	x			
22. Laboratorio de CTV, Centro Agrícola Experimental (CAE), Zacatepec, INIFAP, Mor.	x	x		
23. Laboratorio de CTV, CAE-General Terán, INIFAP, Nuevo León.	x			
24. Laboratorio de CTV, CAE-Pabellón, Aguascalientes.	x			
25. Laboratorio de CTV, CAE-Laguna, Coahuila.	x			
26. Laboratorio de CTV, Programa Nacional de la Papa, INIFAP, Toluca, Estado de México.	x			
27. Laboratorio de CTV, Departamento de Fitoproducción, Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT), Distrito Federal.	x			
28. Laboratorio de CTV, Departamento de Genética, INMECAFE.	x			
29. Laboratorio de Cruzamientos Amplios, Programa de Trigo, Centro Internacional para el Mejoramiento del Trigo y Maíz (CIMMYT), Texcoco		x		
30. Laboratorio de Cruzamientos Amplios, Programa de Maíz, CIMMYT.		x		
31. Biogenética Mexicana, S. A.	x			
32. Mexicana de Micropropagación	x			
33. Tequila Cuervo	x			
34. Departamento de Fruticultura, CONAFRUT	x			
35. Centro de Micropropagación, Oaxaca	x			
36. Laboratorio de CTV, Protimpos	x			

Fuente: R. Casas y K. Chambille, entrevistas propias; Robert, 1985 y Losoya, 1985.

Cuadro 6

## INVESTIGACIONES EN BIOTECNOLOGIA PARA EL MEJORAMIENTO GENETICO DE PLANTAS

Unidad	Situación actual a/	Situación anterior b/
1. Laboratorio de Biotecnología, Colegio de Postgraduados de Chapingo		<u>Remolacha y arroz</u> (variación somaclonal, selección <u>in vitro</u> , tolerancia a sales) <u>Solanum cardiophyllum</u> (selección <u>in vitro</u> ) <u>Solanum ehrenbergii</u> (variación somaclonal, resistencia a hongos)
2. Laboratorio de Embriogénesis, Colegio de Postgraduados de Chapingo	<u>Papaya</u> (rescate de embriones, resistencia a "mancha anular") <u>Aguacate</u> (variación somaclonal, selección <u>in vitro</u> , resistencia a varios)	
3. Laboratorio CTV, Universidad Autónoma de Chapingo	<u>Maíz</u> (variación somaclonal, selección <u>in vitro</u> )	<u>Maíz</u> (selección <u>in vitro</u> , resistencia a sequía) <u>Chile</u> (cultivo de anteras, obtención de haploides) <u>Café</u> (variación somaclonal, selección <u>in vitro</u> ) <u>Coco</u> (variación somaclonal, selección <u>in vitro</u> )
4. Laboratorio CTV, Universidad Autónoma Antonio Narro	<u>Maíz</u> (selección <u>in vitro</u> , tolerancia a sequía, resistencia a <u>fusarium</u> )	<u>Maíz</u> (selección <u>in vitro</u> , resistencia a <u>fusarium</u> )
5. CINVESTAP-Irapuato	<u>Tabaco, jitomate, papa, frijol, amaranto, papaya, arroz</u> (todo con fusión de protoplastos o hibridación somática, ADNr, para obtener resistencia a enfermedades)	<u>Prunus armenica, Prunus domestica, Persea spp, Anona cherimola, Anona muricata</u> (todas vía fusión somática)
6. Departamento de Biología Experimental y Aplicada (CIB), La Paz, B.C.S.	<u>Plantas silvestres y/o de interés comercial</u> (variación somaclonal)	<u>Camote</u> (selección <u>in vitro</u> , tolerancia a sales)
7. División de Biología Vegetal, CICY	<u>Canavalia ensiformis</u> (variación somaclonal) <u>Agave tequilana</u>	<u>Seis especies de Agave</u> (selección <u>in vitro</u> , hibridación somática) <u>Canavalia ensiformis</u> (selección <u>in vitro</u> ) <u>Phaseolus lunatus y vigna sinensis</u> (ambos selección <u>in vitro</u> e hibridación somática)
8. Laboratorio CTV, Centro Agrícola Experimental (CAE), Zacatepec	<u>Caña</u> (variación somaclonal, selección <u>in vitro</u> ) <u>Arroz</u> (cultivo de anteras) <u>Jitomate</u> (rescate de embriones)	<u>Arroz</u> (cultivo antera) <u>Jitomate</u> (rescate de embriones)
9. Laboratorio de Cruzamientos Amplios, Trigo, CIMMYT	<u>Trigo</u> (rescate de embriones, selección <u>in vitro</u> )	<u>Trigo</u> (ibídem)
10. Laboratorio de Cruzamientos Amplios, Maíz, CIMMYT	<u>Maíz</u> (rescate de embriones, selección <u>in vitro</u> )	<u>Maíz</u> (ibídem)

Fuente: R. Casas y K. Chambille (12, cuadro 5, págs. 26 y 27).

a/ Según R. Casas y K. Chambille, 1987.

b/ Según Robert, Losoya y Quintero, 1985.

Cuadro 7

## ESTUDIOS BASICOS EN BIOTECNOLOGIA VEGETAL: ESPECIES ESTUDIADAS

Unidad de investigación	Especies estudiadas	Tipo de proyecto
1. Departamento de Bioquímica, UNAM	Maíz, frijol	Marcadores de fotosíntesis, envejecimiento, endurecimiento
2. CIFN, UNAM	Frijol	Biología molecular, simbiosis con el <u>rhizobium</u>
3. Laboratorio de Biotecnología, Colegio de Postgraduados de Chapingo	Maíz, arroz, sorgo, frijol	Estudios fisiológicos, morfológicos y genéticos <u>in vitro</u>
4. Departamento de Botánica, Colegio de Postgraduados de Chapingo	Frijol, maíz, sorgo y otros	Estudios bioquímicos
5. Departamento de Biofísica, ENCB	Alfalfa	Bioquímica de embriogénesis
6. CINVESTAV, Irapuato	Papa, frijol, arroz, amaranto, jitomate, tabaco	Bioquímica y biología molecular; desarrollo metodológico en biología molecular (RFLP); bioquímica de granos y semillas
7. CICY	<u>Cathartus roseus</u> , <u>canavalis ensiformis</u>	Bioquímica
8. CIB		Biología molecular de interacción planta-microorganismos

Fuente: Casas y Chambille (24, cuadro 7, pág. 33).

## Cuadro 8

## INSTITUCIONES Y EQUIPOS DE INVESTIGACION EN BIOTECNOLOGIA AGROINDUSTRIAL

## UNAM

1. Departamento de Alimentos, Facultad de Química
2. Departamento de Biotecnología, Instituto de Investigaciones Biomédicas
3. Departamento de Biotecnología, Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología, Cuernavaca
4. Departamento de Diseño, Centro de Instrumentos
5. Departamento de Biotecnología, Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, Cuernavaca

## UAM

6. Departamento de Biotecnología, Iztapalapa

## CINVESTAV

7. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, Distrito Federal

## IPN

8. Sección de Fermentaciones, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
9. Sección de Ingeniería Química, Departamento de Graduados e Investigación, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
10. Laboratorio de Enzimas Microbianas, Departamento de Microbiología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas

## UNIDADES PUBLICAS, PARAESTATALES Y PRIVADAS DE INVESTIGACION Y PRODUCCION

11. Departamento de Biotecnología, Subdirección de Alimentos, Laboratorio Nacional de Fomento Industrial (LANFI)
12. Instituto Mexicano de Tecnologías Apropriadas (IMETA)
13. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, División de Agrobioquímica, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)
14. Departamento de Bioingeniería, Instituto de Madera, Celulosa y Papel (IMCyP), Universidad de Guadalajara
15. Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Jalisco (CIATEJ)
16. Centro de Graduados, Instituto Tecnológico de Mérida
17. Laboratorio de Micología, Instituto Nacional de Recursos Bióticos, INIREB, Jalapa
18. Centro de Graduados, Instituto Tecnológico de Veracruz
19. Instituto Tecnológico de Sonora
20. Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México
21. Centro de Investigación y Enseñanza Agrícola y Alimentaria (CIEAA), Universidad de Guanajuato
22. Área de Fermentaciones, Centro de Graduados, Instituto Tecnológico de Durango
23. Módulo de Microbiología Industrial, Centro de Investigaciones en Química Aplicada (CIQA), Saltillo
24. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León

Fuente: Rosalba Casas y Karel Chambille, con base en entrevistas directas, encuestas por correo y teléfono, 1987.

Cuadro 9  
BALANCE DE PRODUCCION-DEMANDA AGRICOLA  
(Miles de toneladas)

Productos	1985			1988		
	Producción	Demanda	Diferencia	Producción	Demanda	Diferencia
Arroz palay	597	740	-143	797	780	17
Frijol	1 322	1 315	7	1 467	1 390	77
Mafz	12 545	15 670	-3 125	16 230	16 230	300
Trigo	4 541	3 945	596	4 766	4 265	501
Aceites y grasas vegetales	426	780	-354	568	810	-242
Pastas oleaginosas	1 133	2 120	-987	1 435	2 540	-1 105
Azúcar	3 169	3 163	6	3 783	3 480	303
Sorgo	5 520	8 167	-2 647	6 864	9 000	-2 136

Fuente: PRONADRI (67, cuadro 14, pág. 110).

Nota: Las cifras de producción para 1988 corresponden a estimaciones del PRONADRI, y las de demanda (excepto azúcar), a proyecciones del PRONAL.



Cuadro 10  
BALANCE DE PRODUCCION-DEMANDA PECUARIA  
(Miles de toneladas)

Productos	1985			1988		
	Producción	Demanda	Diferencia	Producción	Demanda	Diferencia
Carne de bovino <sup>a/</sup>	961	996	-35	1 034	1 165	-131
Carne de porcino <sup>b/</sup>	747	741	6	797	790	7
Carne de aves <sup>a/</sup>	510	509	1	580	540	40
Carne de ovino y caprino <sup>a/</sup>	61	66	-5	67	75	-8
Leche <sup>c/</sup>	7 525	9 275	-1 750	8 499	10 115	-1 616
Huevo <sup>d/</sup>	776	864	-88	937	970	-33
Miel	63	24	39	27	27	-

Fuente: PRONADRI, (67, cuadro 16, pág. 111).

a/ Carne en canal: incluye equivalencia de exportaciones de ganado en pie.

b/ Carne en capote.

c/ Millones de litros.

d/ No incluye avicultura rural.

Cuadro 11

## BALANCE DE PRODUCCION-DEMANDA DE PRODUCTOS FORESTALES MADERABLES

(Miles de metros cúbicos rollo)

Productos	1985			1988		
	Producción	Demanda	Diferencia	Producción	Demanda	Diferencia
<u>Total</u>	<u>9 875</u>	<u>12 273</u>	<u>-2 398</u>	<u>12 439</u>	<u>13 165</u>	<u>-726</u>
Trocería para escuadría	5 087	6 232	-1 145	6 278	6 685	-407
Trocería para celulosa	3 126	4 056	-930	4 160	4 351	-191
Trocería para chapa y triplay	655	1 013	-358	794	1 087	-293
Otros	1 007	972	35	1 207	1 042	165

Fuente: PRONADRI, (67, cuadro 17, pág. 111).

Cuadro 12

## MEXICO: ESTRUCTURA DE IMPORTACIONES SELECCIONADAS, 1985

Concepto intersectorial	Valor (miles de dólares)	Sectorial (%)	Del total (%)
<u>Importaciones totales</u>	<u>13 993 505</u>		<u>100.0</u>
Química y petroquímica	2 063 691		14.7
Siderurgia y minerometal	1 123 789		8.0
Maquinaria y equipo para ferrocarriles, transportes y comunicaciones	1 529 932		10.9
Maquinaria y equipo industrial div.	2 538 030		18.1
<u>Productos seleccionados</u>	<u>2 888 160</u>	<u>100.0</u>	<u>20.6</u>
Productos básicos	343 153	11.9	
Maíz	255 447		
Trigo	31 669		
Frijol	56 037		
Otros productos agrícolas	177 223	6.1	
Complejo ganadero	1 425 251	49.3	(10.2)
Forrajes y pasturas	784 606		
Componentes manufacturados para alimentación animal	31 640		
Animales	128 254		
Productos ganaderos para consumo humano (leche, etc.)	480 751		
Industria forestal y del papel	390 895	13.5	
Maderas	(60 711)		
Celulosa y papel	(330 184)		
Alcoholes	58 569	2.0	
Insumos y maquinaria para sector agropecuario y forestal	493 069	17.1	
Abonos	(121 461)		
Plaguicidas	(10 017)		
Maquinarias y equipo	(361 591)		

Fuente: Elaborado sobre la base de datos preliminares, 1985, Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), por Gerardo Escudero del equipo de Biotecnología y Alimentos, UAM-Xochimilco.

Cuadro 13

## MEXICO: INSUMOS PARA LA PRODUCCION AGROPECUARIA, 1980

(Miles de millones de pesos)

	Agricultura	Ganadería	Silvicultura
<u>Valor total de la producción</u>	<u>261.4</u>	<u>209.3</u>	<u>21.8</u>
<u>Insumos nacionales e importados</u>	<u>44.9</u>	<u>88.7</u>	<u>3.2</u>
Agricultura	9.3	36.4	-
Molienda de trigo	-	2.8	-
Alimentos para animales	-	25.5	-
Refinación de petróleo	2.5	0.8	0.4
Abonos y fertilizantes	9.2	-	-
Productos medicinales	-	4.2	-
Otras industrias químicas	4.1	0.1	0.1
Artículos de plástico	2.4	0.9	-
Comercio	6.2	5.8	0.6
Transporte	1.6	2.4	0.1
Otros insumos	9.6	9.8	2.0
<u>Valor agregado</u>	<u>216.5</u>	<u>120.6</u>	<u>18.6</u>
<u>Total de producción (porcentajes)</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>
Insumos nacionales e importaciones	17.0	42.0	15.0
Valor agregado	83.0	58.0	85.0

Nota: Los insumos importados representan menos del 3% de los insumos nacionales.

Cuadro 14

**PRINCIPALES PROVEEDORES DE TECNOLOGIA  
A MEXICO, 1984-1985**

<b>País</b>	<b>Número de contrato</b>
Estados Unidos	686
Francia	49
República Federal Alemana	45
Gran Bretaña	39
Japón	37
España	30
Italia	28
Suiza	19
Canadá	18
Suecia	18

**Fuente:** SECOFI, Dirección General de Transferencia de  
Tecnología.

Cuadro 15  
FRECUENCIA DE OBJETOS CONTRACTUALES, 1984

	Porcentajes
Asistencia técnica	19.4
Ingeniería básica	3.7
Transmisión de conocimientos	10.8
Ingeniería de detalle	3.6
Asesorías	1.7
Programas de computación	9.7
Explotación de derechos de autor	1.8
Explotación de marcas	13.4
Explotación de patentes	2.4
Servicios administrativos	29.8
Licencia de nombre comercial	3.6

Fuente: SECOFI, Dirección General de Transferencia de Tecnología.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aboites Jaime y Arroyo Gonzalo, El agro y el proceso de industrialización en México: Pasado y futuro, UAM-Xochimilco, México, 1986, (mimeo).
2. Aguilera Verduzco Manuel, "Precios de garantía y transferencias de excedente económico en la agricultura mexicana", La cuestión económica No. 4, Facultad de Economía, Universidad Veracruzana, enero-junio de 1986, págs. 12-21.
3. Arathoon W.R. y Birch J.R., "Large Scale Cell Culture in Biotechnology", Science No. 32, junio de 1986, págs. 1390-1395.
4. Arroyo Gonzalo, Rello Fernando y Rama Ruth, Agricultura y alimentos en América Latina. El poder de las transnacionales, UNAM-ICI, México, 1985, pág. 267.
5. Arroyo Gonzalo y Arias Salvador, Bioteología: Perspectivas de la industria azucarera en México, UAM-Xochimilco, México, 1986, pág. 69.
6. Arroyo Gonzalo, "La biotecnología y el análisis de las cadenas o sistemas agroalimentarios y agroindustriales" Economía: Teoría y práctica, UAM, invierno de 1986-1987, págs. 247-263.
7. Arroyo Gonzalo, El Desarrollo de la Biotecnología: Desafíos para la agricultura y la agroindustria, UAM-Xochimilco, México, agosto de 1985.
8. Arroyo Gonzalo, "Transformaciones recientes de la agroindustria en el mundo", Mercado de Valores No. 28, Año XLVII, julio 20 de 1987, págs. 771-777.
9. Barkin David y Suárez Blanca, El fin de la autosuficiencia alimentaria, Nueva Imagen Ed., México, 1982.
10. Benbrook C.M. y Moses P.B., "Engineering Crops to Resist Herbicides", Technology Review, noviembre-diciembre de 1986, págs. 55-79.
11. Buttel Frederick H., "Biotechnology and the future of agricultural research and development in Latin America and the Caribbean", ponencia presentada en el International Seminar on Priority Themes and Cooperation Mechanisms for Agricultural Research in Latin America and the Caribbean, CIAT, Cali, Colombia, agosto de 1986, pág. 48.
12. Buttel F., Kenney M., y Kloppenburg Y., "From Green Revolution to Biorevolution: some observations on the changing technological bases of economic transformation in the Third World", Economic Development and Cultural Change, octubre de 1985.
13. Blumenthal D., et al, "University-Industry Research Relationships in Biotechnology: Implications for the University", Science No. 232, junio de 1986, págs. 1361-1366.

14. Blumenthal D., "Lifeforms, Computer Programs and the Pursuit of a Patent", Technology Review, febrero-marzo de 1983, pág. 26-32.
15. Calderón Jorge, "Estado, reforma agraria y autogestión", Investigación Económica No. 176, abril-junio de 1986, págs. 181-211.
16. Casas Rosalba, Evaluación de capacidades de investigación en México: Biotecnología agrícola y agroindustrial, Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, México, julio de 1987, pág. 15 (mimeo).
17. Centre for Science and Technology Development, "Tissue culture technology and development", ATAS Bulletin No. 1, Naciones Unidas, Nueva York, noviembre de 1984, pág. 93.
18. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Evaluación técnica-económica de diferentes substratos alternativos para producción de proteína unicelular en México, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, México, julio 11 de 1985, (mimeo).
19. Centro para la Innovación Tecnológica, Vinculación UNAM-Industria. "Marco analítico y normativo", Serie Cuadernos No. 2, UNAM, 1985, pág. 17 y anexos.
20. Centro para la Innovación Tecnológica, Balances de actividades hasta 1986, UNAM, México, 1987, pág. 11.
21. CEPAL, Economía campesina y agricultura empresarial (tipología de productores del agro mexicano), Siglo XXI Ed., México, 1982, pág. 113.
22. COSNET/SEP, La investigación en biotecnología y bioingeniería, Secretaría de Educación Pública, México, 1984, pág. 421.
23. COSNET/SEP, La investigación científica y tecnológica en Medicina Veterinaria, Secretaría de Educación Pública, México, 1984.
24. Chambille Karel, La biotecnología vegetal y animal en México, UAM-Xochimilco, México, 1987, documento preliminar.
25. Chemical Economy & Engineering Review No. 18 (12), diciembre de 1986, págs. 34-35.
26. Chonchol Jacques, L'évolution de l'agriculture latino-américaine de 1950 a 1980: Croissance, modernisation et marginalisation des paysans, Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Universidad París III, marzo de 1985, pág. 62.
27. Darbon Pierre y Robin Jacques, Le jaillissement des biotechnologies, Fayard-Fondation Diderot, París, 1987, pág. 240.
28. "Decreto por el que se Reforma y Adiciona la Ley de Invencciones y Marcas", Diario Oficial, México, enero 16 de 1987, págs. 10-20.



29. Domike Arthur L. y Rodríguez Gonzalo, Agroindustria en Mexico. Estructura de los sistemas y oportunidades para empresas campesinas, CIDE, México, agosto de 1976 (mimeo).
30. Domike Arthur L. y Barraclough Solón L., "La estructura agraria en siete países de América Latina", Flores Edmundo (comp.), Desarrollo agrícola, FCE, México, 1980, págs. 159-184.
31. Dover M., "Getting off the Pesticide Treadmill", Technology Review, noviembre-diciembre de 1985, págs. 53-63.
32. Elliot H. et al, Identifying Opportunities to Improve Agricultural Technology Management Systems in Latin America: A Methodology and Test Case, The State University of N. Jersey, Rutgers, diciembre de 1985.
33. Fajnzylber Fernando, La industrialización trunca de América Latina, Nueva Imagen Ed., México, 1983.
34. Fernández Luis María y Tarrío García María, Ganadería y estructura agraria en Chiapas, UAM-Xochimilco, México, 1983.
35. Flores de la Vega Margarita, "Vulnerabilidad externa del sector agroalimentario: Un intento de medición", Investigación económica No. 176, abril-junio de 1986, págs. 151-180.
36. Frey K.J. "The Unifying Force in Agronomy: Biotechnology", Agronomy Journal No. 77 (2), marzo-abril de 1985, págs. 187-189.
37. Garret H. De Young, "Dawn of the Biotech Farm", High Technology, agosto de 1987, págs. 34-38.
38. Janet C., Gorse P. y Bouquery J.M., "Le role des grandes entreprises diversifiées du pétrole et de la chimie dans la production alimentaire" Economie et Sociétés, Serie AG No. 18, Presses Universitaires de Grenoble, 1985, págs. 243-284.
39. Goldstein D., "New Patents in Biotechnology", Planning Workshop on Biotechnologies and Food Systems, CEPAL, noviembre de 1985.
40. Gilliland Martha W., Nitrogen fixing biotechnologies for corn in Mexico and Central America, University of Nebraska-Lincoln, Omaha, 1987, pág. 26.
41. Green Raúl H., Amérique Latine: Tendances et changements des échanges agro-alimentaires, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, marzo de 1985, pág. 102.
42. Hernández L. Enrique y Córdoba Jorge, "La distribución del ingreso en México", Cuadernos del CIIS No. 5, Mexico, 1982.
43. Hewitt de Alcántara Cynthia, La modernización de la agricultura mexicana, 1940-1970, FCE, México, 1973, pág. 319.
44. High Technology, julio de 1985, pág. 75.

45. IICA, Misión de apoyo al gobierno de México para el fortalecimiento del modelo de investigación forestal y agropecuaria. INIFAP, Informe de Misión, México, 24 de abril a 5 de mayo de 1987, pág. 32 y anexos.
46. International Genetic Resources Programme, Genetic raw materials. A vital link in the food chain, a report submitted to UNCTAD, ICDA Seeds Campaign, Amsterdam, 1985, pág. 151.
47. De Janvry A., Rúnsten D., Sadoulet E., "Technological Innovations in Latin American Agriculture", Part I, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, abril de 1987.
48. De Janvry A., Dethier J.J., "Technological Innovation in Agriculture", CGIAR Study Paper No. 1, The World Bank, 1985.
49. Journal of Pesticide Reform No. 6 (2), verano de 1986.
50. Lewin T., "Genetic Engineering: To Patent Everything in Sight?", Technology Review, febrero-marzo de 1983, págs. 33-34.
51. Kenney Martin, Biotechnology. The university-industrial complex, Yale University Press, New Haven, 1986, pág. 306.
52. Knorr Dietrich y Sinskey Dietrich, "Biotechnology in food production and processing", Science, Vol. 229, septiembre 20 de 1985, págs. 1224-1229.
53. Kunitomo L., Pitcher W.H., Addy N., Stuart D., Hayashi T., Korwet E., Food Technology, octubre de 1986, págs. 58-74.
54. Laget P., Berthon B., "Biotechnologies. Présent et Avenir Dans L'Industrie Agricole Américaine", Informations Chimie No. 276, octubre de 1986, págs. 157-167.
55. Losoya Héctor, "Micropropagación vegetal", Ciencia y Desarrollo No. 65, Año XI, CONACYT, México, noviembre-diciembre de 1985, págs. 63-70.
56. Malassis Louis, Economie Agro-alimentaire, Cujas, Paris, 1979, pág. 437.
57. Morales H.L., "Biotecnologías y Sistemas Alimentarios", Planning Workshop on Biotechnologies and Food-Systems, CEPAL, noviembre de 1985.
58. Montes de Oca Rosa Elena y Escudero Gerardo, "Las empresas transnacionales en la industria alimentaria mexicana", Comercio Exterior No. 9, Vol. 31, México, 1981.
59. Mora Poltronieri Hugo (ed.), "Biotechnology in the Americas II: applications in tropical agriculture", Simposio auspiciado por INTERCIENCIA, plante de embriones para la selección de vacas lecheras", Veterinaria Mexicana No. 16, México, 1985, págs. 167-177.
60. Navarro Fierro Ricardo y Posee Velásquez Camilo, "Utilidad de trasplante de embriones para la selección de vacas lecheras", Veterinaria Mexicana No. 16, México, 1985, págs. 167-177.

61. Office of Technology Assessment, Technology, public policy, and the changing structure of American agriculture, Congress of the United States, Washington, 1986, pág. 374.
62. Olson S., "Biotechnology. An Industry Comes of Age", National Academy Press, Washington, 1986.
63. Mooney P., MTAS Bulletin No. 1, noviembre de 1984.
64. Pimental D., "Down on the Farm: Genetic Engineering Meets Ecology", Technology Review, enero de 1987, págs. 24-30.
65. Pinairo M., Trigo E., "Latin American Agricultural Research", ISNAR, Working Paper No. 1, enero de 1985.
66. Poder Ejecutivo Federal, Programa Nacional de Alimentación, 1983-1988, SPP, octubre de 1983, pág. 291.
67. Poder Ejecutivo Federal, Programa Nacional de Desarrollo Rural Integral, 1985-1988, SARH, México, abril de 1985, pág. 186.
68. Quintero Ramírez Rodolfo (comp.), Perspectiva de la biotecnología en México, Fundación Javier Barros Sierra-CONACYT, México, 1985, pág. 499.
69. Quintero Ramírez Rodolfo, "La agricultura y el cambio tecnológico: Desarrollo y dependencia", ponencia presentada en el Sexto Seminario sobre Economía Agrícola, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 5 de noviembre de 1986, pág. 19 y anexos.
70. Raeburn P., "Automating America's Heartland", High Techonolgy, págs. 48-54, diciembre de 1985.
71. Rello Fernando, El campo en la encrucijada nacional, Secretaría de Educación Pública, México, 1986, pág. 109.
72. Reyes Osorio Sergio y otros, Estructura agraria y desarrollo agrícola en México, FCE, México, 1974, pág. 1174.
73. Roca William M., Directorio Latinoamericano de Biotecnología Agrícola, CIAT, Cali, 1985.
74. Roca William M., Amézquita, M.C. y Villalobos V.M., Estado actual y perspectivas de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe, CIAT, Cali, 1986.
75. Ruttan V.W., "Toward a Global Agricultural Research System: A Personal View", Research Policy 15, 1986, págs. 307-327.
76. Rodríguez Gigena Gonzalo, "Sistemas productivos y polarización social en el agro mexicano: Introducción y síntesis", Economía Mexicana, Serie Temática, Sector Agropecuario, 1983, págs. 9-23.

77. Rodríguez Gigena Gonzalo, "Capesinos, productores transicionales y empresarios en la crisis agrícola (conducta productiva diferencial en siete de los principales cultivos)", *ibidem*, págs. 119-158.
78. Rodríguez Gigena y Vuskovic Pedro, "Articulación sector agropecuario-resto de la economía en el proceso de desarrollo: Antecedentes comparativos y el caso de México", Economía Mexicana No 6, CIDE, México, 1985.
79. Rober Manuel L. y Loyola Víctor Manuel (comp.), El cultivo de tejidos vegetales en México, CICY-CONACYT, México, 1985, pág. 167.
80. SARH-CESPA-CEPAL, El desarrollo agropecuario de México. Pasado y perspectivas, México, 1982, 13 tomos.
81. Sharp M., "National Policies Towards Biotechnology", Technovation, Vol. 5, 1987, págs. 281-304.
82. Sherman K.E., "Protecting Crops with Viruses", High Technology, octubre de 1985, págs. 56-58.
83. "Should Animals Be Patented?", Time, mayo 4 de 1987, pág. 41.
84. "Tuberns, Berries and Bugs", Time, mayo 11 de 1987, pág. 43.
85. Technology Review, mayo-junio de 1986, págs. 11-13.
86. Tempe Jacques y Schell Jeff, "La manipulation génétique des plantes", La Recherche No. 188, París, mayo de 1987, págs. 696-709.
87. Von Ah J., "Biotecnología Agrícola y Ambiente", Ceres, No. 110, págs. 36-40, 1986.
88. Vigorito Raúl, Criterios metodológicos para el estudio de complejos agro-industriales, ILET, México, 1977 (mimeo).
89. Van Horn Charles E., "Recent developments in the patenting of biotechnology in the United States", Symposium on the Protection on Biotechnological Inventions, OMPI/Cornell University, Ithaca, New York, junio de 1987, pág. 11.
90. Vergopoulos Kostas, L'impact des nouvelles technologies sur les industries alimentaires europeennes, Informe preparado por la CEE, Bruselas, diciembre de 1986, pág. 77.
91. Viniegra Gustavo, "La biotecnología: Oportunidades y limitaciones", Estudios de caso No. 1, CIDE, 1985, pág. 131.

4  
4  
4

4  
4  
4

