



UNIVERSIDAD AUTONOMA
CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRICOLA

**LA AGROBIOTECNOLOGIA EN
MEXICO**



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN ECONOMIA DEL DESARROLLO RURAL**

P R E S E N T A:

ALBERTO MARTINEZ NIEVES



CHAPINGO, MEXICO
JUNIO, 1997

851991

LA AGROBIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

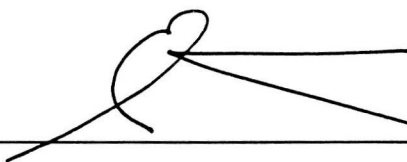
El jurado revisó y aprobó el examen de grado de Alberto Martínez Nieves autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Economía del Desarrollo Rural estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



DR. ARTURO PERALES SALVADOR

ASESOR:



M.C. EMILIO LÓPEZ GAMEZ

ASESOR:



DR. JUAN T. MONEGRO DÍAZ

A. 31451

A G R A D E C I M I E N T O S

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Economía Agrícola por brindarme la oportunidad de mi superación académica y profesional.

Al Dr. Arturo Perales por su atinada dirección del trabajo de investigación y sus palabras de aliento para proseguir escalando los niveles de preparación profesional.

Al Dr. Jürgen Queitsch Kroker por sus valiosos comentarios que enriquecieron la investigación.

A todos los profesores del Programa de Maestría del Departamento de Economía Agrícola, que con su tiempo hicieron posible un mayor conocimiento de las ciencias económicas coadyuvando a mi formación profesional.

A mis compañeros de generación que formaron parte de un mismo sueño.

D E D I C A T O R I A

A MI ESPOSA

CAROLINA REYES JUÁREZ

Con admiración y cariño por su entereza, capaz de poder atender las complejas tareas que le ha deparado la vida. Por su confianza y apoyo en todo momento.

A MI HIJO

CARLOS IVAN

Que es la alegría de mi vida

A MIS PADRES

RUPERTO MARTÍNEZ Y EMMA NIEVES

Que me dieron la vida y siempre han creído en mi

A los demás solo les digo: "Me dedico este libro a mi mismo, para no involucrar a nadie más en un asunto del cual tenga que arrepentirse después".

ÍNDICE

	Pagina
INTRODUCCIÓN.....	1
1.- LA CIENCIA, MOTOR DEL DESARROLLO ECONÓMICO.....	10
1.1. La revolución científico-técnica.....	11
1.2. Tecnología e innovación tecnológica.....	16
1.3. La ciencia y tecnología en México.....	26
2.- LA BIOTECNOLOGÍA, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS.....	42
2.1. La biotecnología, concepto y desarrollo.....	43
2.2. Centros mundiales de desarrollo biotecnológico: Los países desarrollados.	67
2.2.1. Estados Unidos.....	68
2.2.2. Japón.....	76
2.2.3. Unión Europea.....	79
3.- LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO.....	88
3.1. La investigación biotecnológica en México.....	88
3.2. Impacto de la biotecnología en el sector productivo: el caso del maíz y trigo.....	122
3.2.1. Avances en agrobiotecnología para maíz y trigo en los países desarrollados.....	123

3.2.2. Investigación biotecnológica en maíz y trigo en México.....	143
3.2.3. Implicaciones económicas de las transformaciones biotecnológicas de maíz y trigo en México.....	157
3.3. Viabilidad de la biotecnología en México.....	179
3.3.1. Impactos negativos de la biotecnología en el sector agropecuario..	182
3.3.2. Campos prioritarios de investigación biotecnológica en México.....	188
4.- CONCLUSIONES.....	201
BIBLIOGRAFÍA.....	210
ANEXOS.....	269

RESUMEN

Los estudios biotecnológicos son realizados en su mayoría por instituciones educativas, con carencias en recursos económicos, materiales y humanos. Por otra parte no existe claridad sobre prioridades nacionales al no existir un plan rector del desarrollo de la biotecnología. Las tendencias del desarrollo de las investigaciones no siguen los patrones observados en los países desarrollados, sino más bien se trata de incidir en cuestiones como biofertilización, fijación biológica del nitrógeno, mejoramiento genético asistido con RFLP, resistencia a plagas, enfermedades y stress (sequía, salinidad, metales pesados, etc.). Las gramíneas transgénicas resultaron tener gran potencial económico, con un nivel de rentabilidad por arriba del registrado por los cultivos bajo el esquema tecnológico actual.

Palabras claves: Investigación biotecnológica, implicaciones socioeconómicas, transgénicas, rentabilidad.

ABSTRACTS

The biotechnology studies are realized in their majority by educational institutions, with shortage in economic resources, materials and humans. For another part exist not clearness on national priorities exist not rector plan of biotechnology development. The trends not follow the master observed in the country developed, but more well be treat to influence issues such biofertilization, biology nitrogen fixation, genetic improvement assisted with RFLP, pest resistance, diseases and stress (drought, salinity, heavy metals, etc.). The transgenic grains result have big economic potential, with a level of income-yield capacity for up of recording for the cultivations low the present technology scheme.

Key word: biotechnology investigation, socioeconomic implications, transgenics, income-yield capacity.

INTRODUCCIÓN

El sector agroalimentario esta inmerso en una severa crisis, lo que se traduce en la imposibilidad de aportar los productos alimenticios que la población demanda, así como las materias primas que la industria requiere. De hecho, el campo mexicano lleva 20 años de postración y rezago productivo.

"Los datos en este sentido son dramáticos:

a) Desde finales de los años sesenta el producto interno agrícola registra un declive persistente. El crecimiento real del PIB agrícola paso de 7% en 1965 a 3% durante los setenta y a un estancamiento durante la década de los ochenta, que incluso presento crecimiento negativo en 1988 y 1989.

b) En este lapso, México perdió su autosuficiencia alimentaria y pasó de ser exportador agrícola a un fuerte importador, incluso en productos como el maíz y el frijol, de los cuales antes el país representaba uno de los más importantes productores a nivel mundial.

c) Durante el sexenio salinista la recuperación del campo no se ha producido. De acuerdo con datos de la SARH, de 1988 a 1993 el PIB del sector agrícola creció apenas a un promedio de 0.33% anual (...) En términos reales, el crecimiento anual del agro durante este sexenio es menor al 0.8% de crecimiento que se registró de 1980-1988.

d) Con los incentivos crediticios oficiales, la producción de maíz y frijol registró un ligero repunte de 1990 a 1993. En 1991 se contabilizó una cosecha maicera de 14 mil 251 millones de toneladas y otra de frijol que rondó las 378 mil 519 toneladas. No obstante, la producción de los otros cuatro granos básicos: trigo, sorgo, arroz y soya, en 1992 se registró una caída productiva de 18 puntos porcentuales con respecto a 1989. El caso más dramático fue la producción del arroz que en cinco años ha caído en 48%." (El Financiero, 20-03-94, p. 58).

De acuerdo al nivel tecnológico, existen tres formas de producción en el campo mexicano: de subsistencia, tradicional y con técnicas avanzadas. La superficie que ocupan cada una de ellas es la siguiente: subsistencia, 52.4%; tradicional, 40.5% y la de técnicas avanzadas, 7.1% (Ibídem).

Algunos autores hacen una mayor estratificación, tomando como modelo la tipología de productores de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Sin embargo, los tres anteriores engloban la realidad del México rural.

En el campo existe la mayor cantidad de pobreza extrema. Esto se ha escuchado insistentemente en diversos foros, tanto de investigadores académicos como funcionarios gubernamentales. Así, se considera que "casi el 70% de los mexicanos que viven en condiciones de extrema pobreza se localizan en el campo y de ellos, 40% son

autoempleados en la agricultura y se clasifican dentro de la categoría de la pobreza extrema." (Ibídem, p. 59).

- Ante esta situación, el gobierno mexicano ha estado importando cantidades crecientes de granos y semillas, leche y otros productos agropecuarios para cubrir el déficit de la producción nacional. Por ejemplo se importaron 440 mil 944 toneladas de maíz en 1989 y 183 mil 311 ton en 1992; para trigo, en 1989 se importaron 69 mil 758 ton y en 1992 fueron 163 mil 540 ton. (Panorama Agropecuario, No. 0, junio 1993).

Esta compleja problemática tiene como una alternativa de solución la que presenta la biotecnología. Con la utilización de sus técnicas se pueden crear nuevas variedades que tengan altos rendimientos; asimismo, a través de manipulación genética se pueden generar plantas transgénicas capaces de producir sus propios insecticidas y tener resistencia a enfermedades. Al mismo tiempo se tendrían plantas que pudieran fijar biológicamente el nitrógeno atmosférico, como lo hacen las leguminosas, así como mejorar el proceso de fijación en estas últimas.

Con esto se abre la posibilidad de incorporar tierras marginales a la producción. Es decir, por medio de la manipulación del genoma de las plantas se insertan genes que confieren nuevas características, que de manera "natural" no hubiera podido adquirir por ser especies incompatibles. Lo anterior es la base de la biotecnología moderna, también conocida como de tercera generación.

Existe otro tipo de biotecnologías denominadas intermedias que engloba "al conjunto de técnicas basadas en procesos fermentativos y enzimáticos, empleando microorganismos u organismos pluricelulares para producir bienes y servicios"(Villegas, 1996).

Lo anterior evidencia, por una parte, el aumento de la productividad vía mejoramiento de variedades y por otra, la disminución de los costos gracias a la eliminación o disminución del uso de insecticidas, fungicidas y fertilizantes, con el fin de lograr el aumento de las ganancias del productor agrícola y evidentemente, ello implica que se pueda revertir la tendencia actual de descapitalización del agro. De esta forma se puede sacar de la postración en que se encuentra el sector agropecuario. Asimismo el uso de las biotecnologías intermedias implican el uso más eficiente de los productos y subproductos del sector agropecuario disminuyendo desperdicios y contaminación del ambiente.

Así planteadas las cosas pareciera que a futuro todo estuviera resuelto, lo cual no es cierto. Definitivamente se resuelven muchos problemas pero también trae aparejados otros o puede agudizar algunos ya existentes, sobre todo la agrobiotecnología de tercera generación (generación de plantas transgénicas). Tal es el caso de la desigualdad existente entre agricultura tradicional y agricultura altamente tecnificada, la cual se puede ahondar. También se menciona la posibilidad del deterioro de la biodiversidad.

Por ello es importante realizar una investigación de las potencialidades que guarda la agrobiotecnología para el sector agropecuario mexicano. Este estudio aborda la temática abarcando los aspectos referentes a su origen, desarrollo, problemas y perspectivas de esta nueva tecnología.

Ante la complejidad de la problemática es necesario hacer la acotación pertinente sobre los alcances del estudio. En principio la investigación se centra en abordar la temática de la agrobiotecnología, poniendo mayor énfasis en la biotecnología moderna (ingeniería genética). Con la finalidad de ejemplificar las potencialidades de la nueva tecnología el estudio se apoya en la producción de maíz y trigo.

La producción de maíz y trigo constituyen los dos principales productos básicos que conforman la canasta básica de la población, con grandes extensiones de superficie agrícola ocupada para su producción, sobre todo el maíz, parte esencial de la dieta del mexicano. En el caso del trigo, es importante para la industria harinera, íntimamente vinculada con la galletera, panificadora y otros. Su consumo es mayor en algunos estratos poblacionales y generalizado en algunas regiones (norte del país).

El estudio pretende conocer la situación actual en que se encuentra la aplicación de la biotecnología en el agro mexicano; sus potencialidades y posibilidades de solución de la problemática agropecuaria; sus costos y beneficios económicos, ejemplificados con el caso del maíz y trigo. Asimismo, es importante tomar en cuenta los riesgos que implica

el uso de la biotecnología y, sobre todo, la importancia del papel de estado en esta cuestión, a través de las políticas de investigación y desarrollo (ID).

Este estudio pretende alcanzar los objetivos generales que se enumeran a continuación.

a) Conocer la importancia y el desarrollo de la biotecnología en el mundo.

b) Conocer la importancia y el desarrollo de la biotecnología en México.

Asimismo se plantean los siguientes objetivos específicos:

1) Precisar el estado actual de la biotecnología aplicada a la producción agrícola en México.

2) Conocer los impactos negativos de la biotecnología en el agro.

3) Realizar un análisis socioeconómico de la producción de maíz y trigo generados por biotecnología y determinar las posibilidades de solución a su problemática

Esta investigación pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes:

1.- ¿A que problemas se enfrenta México para tener acceso a nuevos conocimientos científicos, procesos y tecnologías de punta?

2.- ¿Tiene México la infraestructura, el personal calificado para desarrollar investigaciones biotecnológicas y los montos de capital que se necesitan invertir?

¿Cuales son sus alcances y limites?

3.- ¿Cuál es el impacto de la biotecnología en el sector agropecuario mexicano?

¿Representa una solución a su problemática?

4.- ¿El uso de la biotecnología en maíz y trigo puede lograr la disminución de los costos,

el aumento de la productividad, el incremento de la rentabilidad, disminución de los tiempos y costos para la liberación de nuevas variedades, la conservación ecológica del medio ambiente?

El tema es nuevo y muchas de sus expectativas o posibilidades que presenta son pronósticos, más que realidades. La información que existe se encuentra dispersa y generalmente abarca cuestiones genéricas de las potencialidades de la biotecnología, por lo que no existen resultados empíricos de la aplicación en el sector productivo de procesos o productos de la biotecnología. Por ello una forma de adentrarse al estudio de este tema es a través del método lógico-abstracto.

Este método se fundamenta en los preceptos que dan sustento al materialismo dialéctico y se caracteriza por que logra determinar los rasgos fundamentales del fenómeno mediante el análisis lógico y se utiliza para estudiar su esencia, sobre todo en aquellos casos donde no puede utilizarse la experimentación. Sus procedimientos son:

- Inducción y deducción.
- Análisis y síntesis.

La investigación se fundamentará a través de una exhaustiva investigación bibliográfica y documental con el fin de conjuntar la información dispersa que existe en la literatura científica al respecto y a través de su análisis obtener los resultados que indiquen la situación que guarda la biotecnología en el sector agropecuario mexicano.

La investigación se divide en 4 capítulos. El primero, denominado "La ciencia, motor del desarrollo económico", aborda las cuestiones referentes a los cambios científicos y sus implicaciones en los aspectos tecnológicos, así como la situación del sistema de ciencia y tecnología en México.

El segundo, titulado "La biotecnología, estado actual y perspectivas" incluye el análisis del desarrollo que ha tenido la biotecnología. Asimismo, se estudian sus principales centros mundiales.

El capítulo 3 aborda la situación en que se encuentra la investigación biotecnológica en México, indicando sus orígenes, problemática a que se enfrenta para su desarrollo y el potencial de solución a los problemas del agro mexicano.

Asimismo se desarrollan los aspectos de la investigación biotecnológica en maíz y trigo, cultivos tomados como ejemplo para analizar las potencialidades que guarda la revolución tecnobiológica en el sector agropecuario, iniciando con los avances agrobiotecnológicas que se tienen en estas gramíneas en el mundo desarrollado.

Enseguida se indagan los resultados que el sector científico mexicano ha logrado en el ámbito biotecnológico de los dos cereales. Por último se hace un análisis de las implicaciones económicas de las transformaciones biotecnológicas en maíz y trigo en México. También se aborda la problemática de la viabilidad de la biotecnología en la República Mexicana, así como los campos prioritarios de investigación en esta área del conocimiento. Por último, en el capítulo 4 se indican las diversas conclusiones a que se llegó en el presente estudio.

1.- LA CIENCIA, MOTOR DEL DESARROLLO ECONÓMICO

El presente siglo es testigo de importantes cambios que fueron generados por el desarrollo de la ciencia y la tecnología. El mundo participa del surgimiento y desarrollo de la microelectrónica, la robótica, la creación de nuevos materiales y a últimas fechas, la biotecnología, que se le atribuyen enormes potencialidades. Estas nuevas tecnologías están "impregnadas" o dependen en alto grado de la ciencia, es decir, de conocimientos de punta.

En los tiempos actuales la ciencia juega un papel medular en el proceso productivo al ser considerada como parte de las fuerzas productivas. De ahí su importancia para el desarrollo económico.

Por ello es conveniente estudiar dicho desarrollo científico, conocido como la Tercera Revolución Científico-Técnica (RCT). Posteriormente se aborda la interrelación existente entre ciencia y tecnología, así como los pasos para que la primera se convierta en innovación tecnológica. Asimismo el papel que juega el sector empresarial en el impulso tecnocientífico. También se analiza la problemática que guarda la ciencia y la tecnología en México.

1.1. LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA

- En la historia de la humanidad se han conocido tres formas de producir. El primero es el Manual, que caracteriza a los modos precapitalistas de producción. El segundo es el Mecanizado, típico del capitalismo desde la revolución industrial. El tercero es el Automatizado, que apenas se encuentra en la fase de despegue y su desarrollo está íntimamente ligado con los avances tecnocientíficos que se presentan en la microelectrónica, la cibernética y nuevos materiales.

Estas diferentes formas de producir reciben el nombre de Modos Tecnológicos de Producción, los cuales no han permanecido estáticos sino que están en continuo desarrollo, en permanente movimiento. Dicho desarrollo es generado por el progreso de la ciencia y de la técnica, sobre todo por aquellas ramas y disciplinas científicas que tienen incidencia directa en la producción. Esto es conocido como Progreso Científico-Técnico (PCT) y se refiere a una serie de procesos que tienen que ver con la actividad productiva y con la actividad espiritual del hombre.

En términos generales el PCT tiene que ver con las investigaciones y su traducción en avances científico-técnicos; con los cambios de las funciones y el carácter del trabajo ante las innovaciones generadas en la base técnica; con la aparición y utilización de nuevos materiales, técnicas y tecnologías; con las transformaciones en la base o

estructura de la producción material; así como en los usos de los resultados científico-técnicos con el fin de mejorar la organización de la producción; etc.

- Existen dos vías fundamentales de llevar a cabo el PCT. La primera es la evolutiva, que consiste en que la técnica y la ciencia tienen cambios graduales gracias a que el conocimiento humano tiene la característica de ser acumulativo. La segunda es la vía revolucionaria, llamada así debido a que el proceso del conocimiento se da por saltos cualitativos radicales y vertiginosos.

Se conocen varios momentos vitales en la historia reciente del PCT: la revolución industrial; los descubrimientos científicos y tecnológicos de finales del siglo XIX y principios del siglo XX y la revolución científico-técnica (RCT).

Los dos primeros conforman el antecedente de la actual revolución tecnológica, que no serán analizadas en el presente estudio. El interés está centrado en la RCT, también conocida como Tercera Revolución Científico-Técnica.

¿Qué entendemos por RCT? Son los cambios generados de manera radical y acelerada en las fuerzas productivas debido al uso de principios científicos en el proceso generador de riqueza (la producción) que conllevan a establecer que el hombre tenga que jugar un nuevo papel en el proceso productivo. Es, de hecho, una etapa nueva del desarrollo de las fuerzas productivas.

Las principales características que distinguen a la RCT son dos:

- 1) El cambio protagónico del hombre en el proceso productivo: El nuevo papel que el hombre jugará en el proceso de producción viene dictado por la creciente automatización de la producción. Esto implica que el hombre no se haga cargo en forma directa del control de la producción o de la misma producción.

Por tanto se deben buscar formas de organización óptimas de acuerdo a la nueva situación, así como la presencia de una realidad que exige una nueva racionalidad en el empleo de la fuerza de trabajo, los recursos materiales y los medios de producción. Ello implica que debe existir una mayor exigencia en la calificación de la fuerza de trabajo, la cual tendrá como característica primordial la intelectualización y el dinamismo en sus cambios.

- 2) La transformación de la ciencia en una fuerza productiva directa: La transformación de la ciencia en una fuerza productiva directa se encuentra ligada a la aplicación consciente de la ciencia en la producción. Debido a ello se ha creado una fuerte interrelación entre ciencia, técnica y producción, de tal forma que el desarrollo de la ciencia y de la tecnología es de vital importancia para la economía tanto de las empresas como de los países, ya que de ella depende el nivel de competitividad que se alcance en el mercado.

Los efectos más importantes de la RCT son los siguientes:

- a) Cambios en la división capitalista del trabajo.
- b) Reestructuración de la economía debido al desarrollo y preponderancia de nuevas ramas y de nuevas ciencias fundamentales.
- c) Determinación de una nueva base energética de la producción.
- d) Una revolución en la estructura ocupacional y cultural de la fuerza laboral.
- e) Novedosas fuentes para el incremento de la productividad y eficiencia del trabajo.
- f) Creación de originales patrones de calidad.
- g) Impulso a las empresas medianas y pequeñas.
- h) Desarrollo de la producción intensiva.
- i) La competencia asume el papel del motor del progreso técnico.

Los rasgos distintivos de la RCT son los siguientes: la microelectrónica que impacta a toda la economía; la informática; el contenido científico de la producción; el papel que juega el trabajo intelectual; calificación de la fuerza de trabajo; rapidez del cambio tecnológico, vital en la competencia por los mercados; el crecimiento económico obtenido gracias a la intensificación de la producción y la transnacionalización de la economía.

La RCT desata un movimiento ascendente en la búsqueda de nuevos procesos productivos y/o nuevos productos por lo que la apropiación de los desarrollos científicos y tecnológicos por la industria, se convierte en una necesidad para su sobrevivencia en el mercado.

Las empresas inician una vertiginosa carrera en pos de aquellos materiales, medios e instrumentos de producción que están exigiendo las nuevas tecnologías. Ello implica una renovación constante e ininterrumpida del capital constante.

En este proceso se observa una clara preponderancia de los equipos automatizados, semiautomatizados, equipos de control numérico, robots, sistemas flexibles y otros, que están íntimamente relacionados con la informática y la microelectrónica, los cuales son altamente eficientes.

Dicha situación no es uniforme para todas las ramas y sectores de la economía, sino que esto ocurre en aquéllas denominadas de vanguardia y/o en las que han iniciado una vigorosa y profunda reconversión tecnológica. En suma, aquellas ramas que poseen el poder económico y la infraestructura adecuada para acometer dicha acción serán las que marquen la pauta en los avances tecnológicos.

Bajo este esquema las empresas demandan un nuevo tipo de fuerza de trabajo: obreros especializados. De aquí que el nivel de calificación del trabajador se convierta en el

factor determinante en el incremento de la productividad y la eficiencia de la producción, lo cual se traduce en mayores ganancias.

- Estos obreros del conocimiento serán determinantes para impulsar el desarrollo tecnológico de las empresas, vía nuevas innovaciones o adecuaciones de las ya existentes, que será el factor determinante para lograr el dominio de los mercados mundiales.

Es por ello que en el siguiente subíndice se aborda la importancia que tiene la tecnología y las innovaciones.

1.2. TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

De suma importancia es determinar la interrelación que existe entre ciencia y tecnología.

Así como especificar los pasos esenciales para concretar un desarrollo tecnológico.

Por otra parte se abordan los diversos mecanismos que se han creado por los empresarios para tener en sus manos los hilos conductores del progreso científico y tecnológico de la actualidad.

Una reflexión necesaria sobre ciencia y tecnología indica que existe una subordinación de la técnica a la ciencia y considera que "la superioridad de las naciones industrializadas

se acentúa, en efecto, desde fines del siglo XIX. Se observa desde entonces una tendencia a que la técnica, o si se quiere la tecnología como conocimiento sistematizado del conjunto de técnicas, dependa más de la ciencia o de la comprensión teórica de las leyes de la naturaleza y a su vez ésta última, la ciencia, se oriente cada vez más a resolver en forma instrumental problemas técnicos" (Arroyo, 1989, p. 15).

Definimos la tecnología como un conjunto de conocimientos conducentes a la producción de bienes y a la creación de nuevos productos y servicios y además, que la tecnología dominante en una formación social está íntimamente ligada al modo de acumulación, a la estructura de clase y a las intervenciones del estado (Arroyo, 1989).

El cambio tecnológico es un proceso que se integra por tres elementos, que interactúan estrechamente entre sí: La invención, la innovación y la difusión. El primero "...se refiere a la generación de ideas para fundamentar nuevas tecnologías o para mejorarlas; el segundo (...) tiene lugar cuando los inventos modifican la actividad productiva; el tercero (...) toma cuerpo cuando se generaliza la adopción de las innovaciones y deja sentir sus efectos de transformación a lo largo de toda la estructura económica, en una determinada rama industrial o, de manera aún más específica, en un segmento reducido de productos" (Avalos, 1992, pp. 101-102). Generalmente los dos primeros procesos, el de invención e innovación, son considerados como determinantes del desarrollo tecnológico.

De los tres procesos anteriormente enumerados (invención, innovación y difusión) el proceso de innovación es el de mayor importancia ya que éste nos determina la profundidad del impacto en el estado actual de la tecnología. Esto no implica que los otros dos procesos no sean importantes, sino que más bien se deben entender como procesos integrados ya que uno no subsiste sin el otro. Sin embargo siempre hay uno que es preponderante y este es el caso del proceso de innovación.

De lo anterior se deduce que "la capacidad de innovación se manifiesta en la generación de cambios tecnológicos de diversa importancia y de distinto grado de complejidad. Algunos (...) están asociados a un proceso de invención/innovación que culmina con la creación de productos o procesos nuevos; otros, en cambio, están vinculados al proceso de difusión/adopción de tecnologías generadas por otras empresas y terminan con la mejora de tales productos o procesos"(Ibídem, 1992, p. 104).

El primer caso se refiere a cambios radicales en los conocimientos tecnocientíficos y que de hecho implica una ruptura con el paradigma existente. En cambio, el segundo es entendido como un proceso de perfeccionamiento del paradigma tecnológico que en esos momentos está vigente. Algunos autores se refieren a esta situación considerando que el proceso de perfeccionamiento se da en un mismo "sendero tecnológico"(ibídem, 1992)

Dentro del proceso innovativo nunca debe perderse de vista la cuestión económica. Digamos que el problema económico determina que la innovación sea empleada o no. Es

decir se pueden generar productos y procesos nuevos, excelentes desde el punto de vista técnico, pero como no se tomó en cuenta si existía el mercado para tales productos, es evidente que fracasará comercialmente. Así, es necesario que exista un mercado, que concorra la posibilidad económica de que los nuevos conocimientos puedan ser empleados. Que se dé el encuentro de la oferta y la demanda.

"La historia del desarrollo tecnológico es rica en ejemplos de productos exitosos desde la perspectiva técnica y de ingeniería que condujeron a grandes fracasos comerciales" (ibid, p. 105).

Es indudable la importancia que reviste la interacción entre la oferta y la demanda de la tecnología. No es posible que se dedique gran cantidad de horas-hombre y recursos económicos por un equipo de investigadores para desarrollar un nuevo producto o proceso tecnológico y que no se pueda vender por falta de mercado. Por otra parte, puede ser que exista la necesidad de desarrollar un nuevo producto o tecnología para una empresa en particular y nadie la desarrolle. Pero tampoco se debe perder de vista el comportamiento del consumidor final.

La única forma de lograr lo anterior es a través de las empresas y fabricas de tecnología (Sabato, 1982). Este investigador considera que la fabrica de tecnología es aquella que esta vinculada a una empresa "...cuyo objetivo principal no es la producción de

tecnología como una mercancía separada sino como un insumo para ser empleado en la producción y comercialización de otros bienes y servicios".(Ibídem, p. 70).

En cambio, la empresa tecnológica es aquella cuyo fin es la producción de tecnología y su comercialización al mejor postor. Es decir, son independientes de cualquier empresa productora de bienes y servicios. Su negocio es la producción y venta de tecnología.

Estas corporaciones científicas son muy pragmáticas, de tal forma que las investigaciones de sus científicos no están imbuidas por el "sentimiento" de hacer ciencia por la ciencia misma, sino bajo la óptica de la ciencia aplicada. Pero esto no quiere decir que exista una separación entre ciencia aplicada y ciencia básica, ya que esta última es la base de la primera.

Sin embargo existen muchas empresas que no investigan aspectos de ciencia básica, pero subsanan esto firmando contratos y convenios con institutos y universidades para financiar proyectos científicos básicos.

Tanto las fabricas como las empresas tecnológicas, pero más estas últimas necesitan hacer estudios de mercado de sus investigaciones tecnológicas en curso, determinación de las necesidades de las industrias, de los consumidores, etc. En suma, deben de conocer la demanda de tecnología que existe en la sociedad, con el fin de evitar un desfase entre sus productos y procesos y la demanda de la industria y/o consumidores.

A fin de cuentas el mercado, compuesto por las empresas de bienes y servicios, van a marcar la pauta de la intensidad del trabajo científico desarrollado en las empresas y fabricas de tecnología.

Las grandes empresas integran en su estructura operativa departamentos o fabricas de tecnología, en los cuales invierten cierto porcentaje de sus ventas totales, con el fin de evitar que la investigación y desarrollo se desvincule de la producción y comercialización. La empresa inglesa Pilkington tiene grandes gastos en investigación y desarrollo sobre la cual Kenward (citado por Sabato, 1982, p.85) reporta que "...el personal de R-D [léase investigación y desarrollo] debe identificarse con las ideas de obtener ganancias y de derrotar a la competencia" y que "no hay lugar para ideas etéreas sobre la pureza de la ciencia y la necesidad de no contaminarse con el mercado".

Lo anterior es una muestra del uso pragmático de la ciencia para producir adelantos tecnológicos exclusivos de la empresa que los genera, lo cual se convierte en una ventaja sobre sus competidores, trayendo consigo mayores ganancias y preponderancia en los mercados.

En suma, "...los innovadores exitosos fueron los que tenían un mejor conocimiento de las necesidades de los usuarios, obtenido generalmente gracias a una estrecha colaboración con clientes potenciales. Fueron también los que prestaron mayor atención

a la investigación de mercado, la publicidad y a la educación del usuario"(Ibídem.; 1982, p. 90).

El elemento principal del proceso innovativo es la empresa, ya que es ella la que logra conjugar las posibilidades tecnológicas con las económicas. Y de hecho es el punto de fusión de todos los agentes que participan en este proceso: laboratorios, firmas de ingeniería, clientes, empresas de bienes de capital, empresas consultoras, entidades financieras, sistemas de información, etc., las cuales aportan una serie de capacidades e información que se combinan de varias formas y dosis con el fin de posibilitar la innovación (Avalos, 1992).

Todo proceso innovativo tiene como finalidad obtener un producto tecnológico. Este debe de tener ciertos atributos. García Salord (1991, p. 173) considera los siguientes:

- a) Viabilidad técnica y económica.
- b) Relevancia.
- c) Competitividad.
- d) Comercialización.
- e) Impacto.

A través de la historia, la humanidad revolucionó la tecnología, gracias a su gran inventiva y a la búsqueda incesante de progreso. De hecho, el trabajo humano ha sido el impulsor de dichos cambios.

El trabajo, como actor principal del desarrollo tecnológico, lleva consigo su propio desplazamiento de las actividades productivas por los productos tecnológicos por él generado. Así, en un principio, el trabajo humano realizaba una función eminentemente motriz, la cual fue desplazada por los motores de vapor, de combustión interna y eléctricos, lo cual implicó que su actividad cambiara a una de control de dichas maquinas. Pero esta actividad también fue desplazada por las computadoras y maquinas con control numérico (más bien este desplazamiento está en proceso); las cuales son creadas, transformadas, etc., por una nueva actividad del hombre: la creativa e innovación.

Se considera que la actividad "...creativa y de innovación, constituye la verdadera esencia humana. Su desarrollo, en cuanto capacidad general de la población, es la exigencia del presente porque las computadoras y los sistemas de fabricación flexible reflejan únicamente las capacidades de los hombres que los manejan" (Abreu, 1991, p. 195). Así, esta actividad se ha convertido en el motor del desarrollo económico mundial.

Para desarrollar cualquier innovación tecnológica es necesario que exista un sistema educativo altamente desarrollado, ubicado dentro de los umbrales de la ciencia, que posibilita la existencia de personal altamente capacitada. Es decir considerar al conocimiento como la espina dorsal del desarrollo nacional.

El conocimiento es la base sobre la cual descansan las ventajas competitivas de las naciones, las cuales son de orden superior ya que implica tener productos diferenciados, más completos o tecnología propia, más duraderas (Becerra, 1993).

Los empresarios han integrado dentro de sus estrategias productivas y comerciales al conocimiento, gracias a que han comprendido la importancia que ésta reviste. Lo anterior se refleja en los niveles de inversión en ID que las empresas realizan. Por ejemplo en Estados Unidos la industria invirtió, en 1990, un total de 70 mil millones de dólares, seguido por Japón con aproximadamente 27 mil millones y Alemania con 14 mil millones (véase cuadro 1.1) (Canales, 1993).

Por sectores se observa que, para el caso de los Estados Unidos, las ramas que mayores inversiones realizan en ID son: microcomputación, automotriz, salud, eléctrica y electrónica. Para el caso de salud se reporta que ha tenido un incremento en sus gastos en ID para 1990, con respecto a 1989, del 20%, gracias a las compañías de fármacos y biotecnología.

"Las compañías estadounidenses General Motors, International Business Machines, (IBM), Ford Motor y American Telephone & Telegraph, (AT&T), son las que tienen una mayor inversión en I&D, superior a los dos mil millones de dólares...[Ellas] están entre las seis compañías mundiales que realizan un mayor gasto en I&D, siendo las otras dos, la alemana Siemens y la japonesa Hitachi" (Ibídem, p. 76). Véase cuadro 1.2.

CUADRO 1.1: GASTO DE EMPRESAS PRIVADAS EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (ID)*

<i>País</i>	<i>Gasto ID</i>	<i>Tasa de crec. 89-90 (%)</i>	<i>Gasto ID como % de ventas</i>	<i>% en el gasto ID[#]</i>	<i>Nº de compañías</i>
EE.UU.	69,989	7	3.4	49.1	909
Japón	27,295	14.6	4.9	68.5	74
Alemania	14,086	4.2	6.1	63.6	19
Gran Bretaña	7,570	10.1	2.1	49.7	33
Francia	6,997	16.9	4.2	41.8	17
Suiza	4,426	2.8	5.9	61.1	10
Países Bajos	4,208	0.2	3.0	53.4	7
Suecia	3,454	14.1	6.5	60.0	10
Italia	2,640	8.7	4.2	41.7	8
Canadá	2,069	5.4	4.6	41.7	6
Bélgica	448	8.7	5.0	71.6	2
Finlandia	318	15.0	2.4	73.8	5
Dinamarca	250	46.7	7.0	46.9	2
Noruega	242	37.2	2.3	47.5	2
Australia	146	1.6	0.9	ND	3
Sudáfrica	86	-17.7	ND	ND	1
Austria	67	10.0	5.1	50.9	1

ND: No disponible.

*No incluye gasto gubernamental.

[#] % de participación de la industria total en el gasto nacional en ID.

FUENTE: Business Week, 1991; UNESCO, 1991. Citados por Canales, 1993, p. 74.

CUADRO 1.2: COMPAÑÍAS CON MAYOR GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN 1990 (millones de dólares)

Compañías de EE.UU.		Compañías otros países	
General Motors	5,342	Siemens (Alemania)	4,132
IBM	4,914	Hitachi (Japón)	3,011
Ford Motor	3,558	Matsushita E. Ind. (Japón)	2,423
AT&T	2,433	Philips'Elec. (Países Bajos)	2,411
Digital Equipment	1,614	Alcatel Alsthom (Francia)	2,237
General Electric	1,479	Fujitsu (Japón)	2,097
Du Pont	1,428	Toshiba (Japón)	1,864
Hewlett-Packard	1,367	NT&T (Japón)	1,739
Eastman kodak	1,329	NEC (Japón)	1,728
Dow Chemical	1,316	Bayer (Alemania)	1,699

FUENTE: Business Week. 1991. Citado por Canales, 1993; p. 78.

1.3. LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO

México evidencia un claro retraso en ID, caracterizado por una serie de problemáticas que es importante examinar.

Es a partir de 1970, con la formación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) cuando se dan pasos más firmes en la promoción y el apoyo en el rubro de ciencia y tecnología.

Los antecedentes del CONACYT se remontan a 1935, año en el cual se crea el Consejo Nacional de la Educación Superior y la Investigación Científica (CENESIC), cuya política estuvo orientada hacia la actividad agropecuaria, considerada como base de la industrialización del país. Pero en 1941, esta dependencia se reforma y toma el nombre de Dirección General de la Educación Superior y la Investigación Científica, que a su vez, fue sustituida por la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC).

La CICIC consideraba que el desarrollo económico de México se lograría tomando como base la producción industrial, sobre la cual se tendría que incidir gracias a la investigación de la física-matemática, la biología, la geología y la química, así como el impulso la ciencia aplicada. Para 1950, dicha actividad recae en el Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC), el cual funcionó hasta 1970, año en que se crea el CONACYT.

Antes de la creación del CONACYT, los organismos rectores de las políticas en ID formaron recursos humanos, impulsaron institutos de investigación y apoyaron la publicación de revistas especializadas. Sin embargo, es el CONACYT quien viene a sintetizar toda esa experiencia acumulada y asume estas tareas en una forma más estructurada y permanente.

Históricamente las investigaciones realizadas en México se han comportado de la siguiente forma: en 1968 se tenían 2,718 proyectos de investigación en proceso de ejecución; en 1974 había 9,197 proyectos y en 1984 se registraron 13,174 proyectos. (Chavero, 1989).

"La investigación básica, en 1974, era de un 26 por ciento y se elevó en 1984, a un 33 por ciento. El nivel de desarrollo experimental registró una disminución porcentual del 21 por ciento en 1974, que descendió al 12 por ciento en 1984. Ello indica que no se están aprovechando, suficientemente, los hallazgos de la investigación básica, pues el desarrollo experimental implica que se utilicen y se adopten los conocimientos en el aparato productivo". (Chavero, 1989, p. 18).

CUADRO 1.3: INVERSIÓN EN ID EN MÉXICO, CON RESPECTO AL PIB

AÑO	%	AÑO	%
1970	0.17	1983	0.35
1971	0.36	1984	0.56
1972	0.39	1985	0.43
1973	0.41	1986	0.35
1974	0.41	1987	0.28
1975	0.35	1988	0.27
1976	0.35	1989	0.28
1977	0.35	1990	0.30
1978	0.41	1991	0.37
1979	0.42	1994	0.45
1980	0.54	1995	0.45
1981	0.59		
1982	0.51		

* Preliminar

FUENTE: Juaristi, 1994; Guadarrama, 1996; ONU, 1992;
El Financiero 28-11-1996; Ballesteros, 1989.

La inversión en ID en México nunca ha llegado al 1% con respecto al PIB, porcentaje recomendado por la ONU, incluso no ha llegado al 0.6% (véase cuadro 1.3). De acuerdo con Juaristi (1994), el gasto en ID con respecto al PIB fue en 1990 fue de 0.30 y en 1991 fue de 0.37. Dicho gasto está muy por abajo de lo que se invierte en los países desarrollados, que en promedio es del 3% con respecto al PIB. Cabe mencionar que la tasa de crecimiento acumulativo anual en ID de México, desde 1987-1991, fue en promedio del 10%.

Durante 1994 el CONACYT ejerció alrededor de 902 millones 466 mil nuevos pesos (en pesos corrientes), que al sumar el gasto de los diferentes centros e instituciones del sistema SEP-CONACYT, se llega a un total de mil 246 millones de nuevos pesos. Para 1995 se anuncia un presupuesto para apoyar el desarrollo de la ciencia de mil 571 millones de nuevos pesos, lo cual representa un incremento nominal de 26%. Pero, estimando una inflación de 19% y de 23 a 25%, que son las expectativas inflacionarias manejadas por el gobierno y la iniciativa privada respectivamente, dicho aumento se traduce en 5% y entre 2.5 a 0.9%. (El Financiero, 13-02-1995, p. 44).

En cuanto a la formación de recursos humanos se reporta por Juaristi (1994) que en 1991 se tenía en México un número aproximado de 18,000 científicos e ingenieros dedicados a ID. En cambio, en 1985 habían 13,000; ello significa que de 1985 a 1991 se tuvo un crecimiento de 39%.

Sin embargo no todos los científicos forman parte del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), mecanismo creado para incentivar a los científicos. En 1984 el sistema registraba 1,396 investigadores, los cuales llegan a ser 5,879 en 1994. Cabe mencionar que, desde 1992, se observa una tendencia a la baja, ya que en este año se tenían 6,602, que para 1993 llegaron a ser 6,233 y para 1994 ya eran 5,879. Es decir, disminuyó en 726 investigadores. (Ciencia y Desarrollo, 1994).

Más interesantes resultan las cifras que representan al personal de ID sobre la población activa, donde se observa que por cada 10,000 habitantes activos, se tienen 12 en ID. Realizando una comparación con España, Alemania, Estados Unidos y Japón es evidente su inferioridad, ya que éstos tienen 45, 53.7, 75.9 y 68.8, respectivamente.

Respecto a la competitividad tecnológica, medida por el número de patentes que son registradas por ciudadanos de algún país. Se tiene que las patentes norteamericanas que fueron obtenidas por desarrollos tecnológicos de mexicanos fue de 42 en 1984; 49 en 1987. Esto representa un incremento de 17%. Pero existe una disminución en 1990, ya que se obtienen solo 37, que representa un decremento de 25%. (Juaristi, 1994).

Como un efecto de la debilidad del sistema de ID y el nulo interés de la iniciativa privada es el escaso número de patentes registrados por mexicanos. Un informe reciente reporta que en la década de los ochenta la gran mayoría de las patentes registradas en

México eran de extranjeros que ostentaron el 94% y apenas un 6% de los nacionales (Ibídem).

- El sistema de ID en México se caracteriza por su debilidad, contando con una capacidad instalada muy reducida, circunscribiéndose a contadas universidades y centros de investigación. Asimismo, ante los recortes presupuestales en el área educativa y en ciencia y tecnología por la crisis económica, ha llevado a una reducción en la capacidad de investigación en aspectos tan importantes para el desarrollo y el crecimiento del país, como en el sector agropecuario, forestal y pesquero, la industria, el uso racional de la energía y salud, entre otros.

Aunado a lo anterior se informa que aproximadamente un 90% de las necesidades tecnológicas de la industria nacional es cubierta por medio de adquisiciones foráneas.(El Financiero, 13-02-1995).

Lo anterior indica que no existe vinculación entre el sector científico (Universidades, Institutos y Centros de Investigación) y el sector industrial. Ello debido por que el investigador mexicano se ha caracterizado por realizar sus investigaciones aislado dentro del ámbito universitario, sin preocuparse por tener nexos con el sector productivo.

A su vez, éstos no se han interesado por los adelantos científicos obtenidos en las universidades y centros de investigación mexicanos, optando por importar tecnologías,

lo cual implica que existan escasos ejemplos donde se haya dado el vínculo universidad-industria. También es evidente el poco interés que el empresario nacional tiene por el desarrollo científico-técnico de sus empresas, ya que son contados los casos de empresas que cuentan dentro de su estructura organizacional un departamento o área encargada de la ID. Asimismo escasean las corporaciones dedicadas exclusivamente al desarrollo tecnológico.

Esta es la realidad mexicana, muy a pesar que la corriente del desarrollo actual indica con claridad, que la era del conocimiento se está gestando; es decir, el futuro económico será de quien domine la ciencia y la tecnología de punta: microelectrónica, informática, nuevos materiales y biotecnología.

Consciente de la situación de atraso que prevalece en la industria, el gobierno mexicano puso en marcha un programa de reconversión industrial. “...En México las empresas que han ocupado recursos de los programas de financiamiento para la reconversión industrial y adquirir bienes de capital de Nacional Financiera han destinado sólo entre 0.03% y 0.04% para capacitar o contratar recursos humanos especializados, esto es, ¡solamente una empresa de las 307 participantes en el Programa de Reconversión Industrial, principal mecanismo financiero de apoyo a la reconversión nacional industrial!” (Aboites, 1992, p. 82).

De esta forma, los empresarios mexicanos han considerado como prioritario en su modernización el cambio de maquinaria y equipo por una más moderna. Es decir, la adquisición de bienes de capital para la empresa dejando de lado la capacitación y especialización de los recursos humanos.

¿A que estrategia empresarial responde esta actitud? Fundamentalmente a una visión de corto plazo, a la búsqueda de rentabilidad inmediata (Conde, González y Wing, 1992). Y como ningún proyecto científico asegura ganancias en el corto plazo y además exige cuantiosas inversiones, por lo que no es considerado como prioridad por el sector productivo. Es decir, se pierde de vista que las inversiones en ID son a largo plazo, que implica una preparación para enfrentar el futuro. Lo anterior posibilita que se vayan acumulando conocimientos, experiencia científica y la creación de infraestructura física necesaria para acometer una actividad de ID con éxito.

“...El criterio de rentabilidad inmediata limita, empobrece, el horizonte posible de procesos de invención e innovación que podrían tener lugar bajo condiciones más flexibles y generosas de financiamiento de la ciencia y la tecnología. El desarrollo científico no puede regirse por criterios de aplicabilidad y rentabilidad inmediatas” (Ibídem, pp. 368-370).

Esta actitud asumida por los empresarios está reñida con la condición primaria para lograr un mayor desarrollo tecnológico. A saber: contar con una amplia base científica o,

como dice Guadarrama (1992, p. 152), un “...sector de servicios intensivos en neuronas...[que]...son los que permiten transformar las formas de generación, circulación y apropiación de excedente económico en la agricultura, en la industria y en los servicios tradicionales”.

Cabe mencionar que los pocos desarrollos tecnológicos generados en el país han surgido de la universidades, e incluso se ha llegado a considerar que éstas deben proveer toda la tecnología que necesita el sector productivo. Dicha situación no corresponde a la realidad del capitalismo. De acuerdo con Yacaman (1993) la tecnología es para la empresa y por lo tanto, su desarrollo debe ser asumido por el sector empresarial.

Por tanto, la industria mexicana se caracteriza por ser utilizadora neta de tecnología extranjera, obtenida vía transferencia, la cual se tiene que adaptar de acuerdo a las especificidades que privan en el país, sin embargo en muchos casos no se realiza la adaptación, solo se aplica. Asimismo es común que se mencione que el simple hecho de adquirir maquinaria nueva implica estar en la vanguardia de los adelantos científicos sin tomar en cuenta que además se necesita tener una mejor preparación del personal, servicios, mejoras, en suma, conocimientos. Es por ello que no existe investigación realizada o financiada por el sector productivo. Si la inversión gubernamental es escasa, la del sector industrial es ínfima. Su participación en los gastos totales en ID no ha pasado de un 10% del total (Campos, 1991).

El territorio mexicano esta cubierto en su totalidad en materia educativa, ya que no existe un estado que no cuente con universidad. También la Secretaria de Educación Pública que tiene a su cargo la estructura educativa básica y media superior, ha impulsando la educación tecnológica creando el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos abocados al estudio del sector agropecuario, que están diseminados en todo el país. Así mismo se cuenta con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN) que tienen presencia nacional. Así como otras universidades e institutos públicos y privados, distribuidos en el Distrito Federal (D.F.) y otras ciudades de la República, conforman el mosaico educativo del sistema científico mexicano.

De acuerdo con sus posibilidades económicas y la capacidad científico-técnica de su personal cada institución educativa contribuye en el desarrollo de la ciencia y la tecnología nacional.

El gobierno, a través de las dependencias respectivas otorga becas al posgrado, reportándose que entre 1971 y 1980 se dispusieron de 31,214 becas, de las cuales 27,594 fueron otorgadas por CONACYT, correspondiendo 1,961 a estudios de doctorado y 10,343 para maestría. Cabe mencionar que en este periodo se crearon 25 nuevos centros de investigación científica y tecnológica (Campos, 1991).

Asimismo se provee de financiamiento para la realización de estudios de posgrado en el extranjero, existiendo en la actualidad 1947 estudiantes mexicanos realizando su maestría, doctorado, posdoctorado o especialización en países de Europa, Estados Unidos, Canadá y otros.

De ellos 164 están realizando estudios en biotecnología y ciencias afines, tales como genética, bioquímica, microbiología, etc. Siendo importante destacar que en biotecnología, biotecnología vegetal y biotecnología de procesos se preparan en el extranjero 44 mexicanos (véase cuadro 1.4). Cabe mencionar que los 164 estudiantes equivalen al 8.42% del total de estudiantes mexicanos en el extranjero.

CUADRO 1.4: ESTUDIANTES DE POSGRADO EN EL EXTRANJERO EN BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AFINES. (1996)

Ciencias	Total de estudiantes en:			Total
	Posdoctorado	Doctorado	Maestría	
Biotecnología	1	36	3	40
Biotecnología vegetal		2	1	3
Biotecnología de procesos			1	1
Biología		21	9	30
Biología celular		1		1
Biología molecular		12		12
Bioingeniería		1		1
Genética		14	1	15
Genética molecular		1		1
Bioquímica	2	5		7
Microbiología		13	2	15
Fitomejoramiento		3	1	4
Fermentación		1		1
Enzimología		1		1
Tecnología de alimentos		23	9	32
TOTAL	3	134	27	164

Fuente: Elaboración propia en base a información de CONACYT, suplemento de becarios de CONACYT, 1996.

De esta forma queda clara la situación que prevalece en ID en México y asimismo, indica la magnitud de los retos que se tienen que enfrentar para solucionar la problemática.

Por último, es importante tomar en cuenta las recomendaciones que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) hizo a México, en materia de política de ciencia y tecnología (CyT), las cuales se transcriben textualmente.

- a) impulsar la modernización tecnológica de la industria mexicana, elevar el gasto público en materia de ID, así como el del sector privado. El análisis sugiere alcanzar la meta de por lo menos 1% del gasto en ID para el año 2000.
- b) Ampliar las atribuciones de la Comisión de Ciencia y Tecnología (CyT) de la cámara de diputados en esta materia, para supervisar el ejercicio del gasto en CyT y participar en la definición de objetivos y programas. Una recomendación adicional es establecer en el senado una comisión de CyT similar a la de la Cámara de Diputados.
- c) Que el CONACYT tenga autoridad para intervenir en la elaboración del presupuesto federal de las demás instituciones, así como monitorear este gasto.

- d) Que la institución encargada de la política de ciencia y tecnología tenga nivel de secretaría, como una forma de reforzar la capacidad institucional en el área respectiva.
- e) Se recomienda la creación de un grupo de expertos independientes en materia de política y administración científica y tecnológica.
- f) Se señala la necesidad de que las nuevas políticas de CyT tengan como punto de partida la demanda, es decir, las necesidades que nacen de la economía y de la sociedad en materia de ID e innovación y se busquen los medios para facilitar las respuestas a esta demanda a partir del sistema tecnológico y científico.
- g) Estimular a los empresarios innovadores en el terreno tecnológico.
- h) descentralizar las actividades de investigación y enseñanza y vincular estas actividades con las necesidades locales o regionales.
- i) En materia de educación superior, se apuntan: la necesidad de separar las preparatorias del sistema universitario; incrementar las colegiaturas de las universidades públicas; eliminar el pase automático y elevar los estándares de admisión a las universidades públicas; aumentar el número de profesores por alumno; reducir más la concentración en actividades de investigación en el Distrito Federal; aumentar el

número de profesor/investigador por empleado administrativo; realizar actividades para aumentar el número de estudiantes en ciencias, matemáticas e ingeniería; mejorar la evaluación, la planeación y coordinación de la docencia e investigación en las universidades autónomas. Los gobiernos estatales deberían tener un papel más activo en las universidades estatales; eliminar el carácter de "universidad" a aquellas instituciones públicas y privadas que no garanticen un alto nivel académico y de investigación; sustituir los subsidios a las universidades, por bonos otorgados a los estudiantes, para que las universidades compitan por los mejores alumnos; y otorgar becas a estudiantes de escasos recursos para estudios de licenciatura.

j) Se recomienda que el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) se actualice y revalúe para que se puedan incluir a los investigadores técnicos e industriales en su seno. La membresía del SNI debería ser por un período limitado y los logros de los investigadores deberían ser reconocidos mediante un incremento de su sueldo o mediante un programa de bonos para la ID. El SNI debería dar estímulos mayores a investigadores y científicos jóvenes que realicen ID en provincia.

k) El estudio aconseja la eliminación del 2% sobre el activo fijo de las empresas, para estimular la adquisición de tecnología integrada y que se otorguen créditos fiscales para ID. Recomienda el incremento de los recursos destinados al Programa Academia-Empresa (Preaem) y la utilización del mismo para proyectos conjuntos de dos o más empresas, asociaciones industriales o para satisfacer necesidades

comunes de sectores industriales o áreas geográficas específicas, así como la simplificación del proceso de otorgamiento de apoyos dentro de este programa.

- l) Respecto al financiamiento el estudio sugiere: ofrecer incentivos financieros y de rentabilidad al sector privado para que emprenda actividades de ID; reducir los procedimientos burocráticos a un mínimo; crear servicios de consultoría financiera y técnico-económica para proyectos de ID; autorizar a CONACYT o Nafin para que concedan directamente créditos para proyectos de ID; otorgar fondos a uniones de crédito a través de Fidotec; la obtención de un segundo préstamo del Banco Mundial, para mantener el apoyo a los fondos y programas de CONACYT; y crear mercados tanto para servicios técnico-económicos, como para servicios financieros asociados con la ID.
- m) Llevar a cabo políticas para la modernización tecnológica que incluyan entre otras cosas, la formación y el empleo de jóvenes graduados en política tecnológica, gestión de la innovación y economía industrial.
- n) Los expertos consideran que la industria mexicana requiere del mejoramiento de la educación para la gestión de las finanzas, la mercadotecnia, el comercio internacional y la transferencia de tecnología para hacer frente a los retos del presente (Tecnoindustria, 1995, pp. 68-71).

El futuro de México esta en manos de lo que se realice en ID. De la importancia que se le confiera en las políticas gubernamentales y los apoyos económicos que sean dedicados para este fin.

Por su parte la iniciativa privada debe asumir su papel de generador y usuario neto de los adelantos tecnocientíficos de las universidades y centros de investigación mexicanos. Así como contribuir en el financiamiento de proyectos científicos y porque no, apoyar la formación de recursos humanos a través del otorgamiento de becas para estudios de posgrado en el país o en el extranjero.

2.- LA BIOTECNOLOGÍA, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

El desarrollo industrial no puede separarse del desarrollo de las ciencias, sobre todo de aquellas que son la base de los adelantos tecnológicos que tienen un papel fundamental en el sector productivo mundial. Dichas innovaciones trastocan las formas tradicionales de la organización de la producción.

Así pues, la ciencia es impulsor del desarrollo tecnológico y por ende del sector industrial, lo cual implica que la economía de una nación avanzará en la medida que conforme una sólida base científica.

Por ello es importante saber que en la actualidad la electrónica, la robótica, la informática y las ciencias biológicas son las que marcan la pauta en el desarrollo tecnológico actual.

Por lo tanto, es necesario conocer y estudiar como se ha gestado dicha supremacía. En este caso, se abordará el fenómeno generado por los avances de las ciencias biológicas, las cuales se reflejan en una serie de tecnologías que reciben el nombre genérico de biotecnología.

2.1. LA BIOTECNOLOGÍA, CONCEPTO Y DESARROLLO.

La biotecnología es una palabra formada por dos términos: bios=vida y tecnología. Es decir, tecnologías de la vida. Son todos aquellos desarrollos tecnológicos que tienen que ver con la manipulación de seres vivos, ya sean animales, plantas, hongos, bacterias, virus, etc.

Gonzalo Arroyo (1987, citado por Añé) define la biotecnología como el resultado de la aplicación agrícola e industrial de la ingeniería genética y de todas las nuevas tecnologías que utilizan como materia prima a la biomasa; es decir, toda materia orgánica que crece por la conversión de la energía solar por medio de la fotosíntesis.

En otras palabras, la biotecnología puede definirse como el uso de organismos y procesos biológicos con el objeto de producir bienes y servicios, y preservar el medio ambiente (Bravo, 1988, p. 4).

Quintero (1993) considera que la biotecnología se remonta a épocas lejanas tales como aquellas en que se inició la producción de bebidas fermentadas (vinos y cervezas), pan, fermentación alcohólica y de productos lácteos, que datan del año 2000 a.c. Sin embargo, para algunos autores, como Paredes (1990) llegan a considerar que el uso de la biotecnología tiene más de 8 000 años, sobre todo en alimentos y bebidas.

La producción de vacunas se presenta en el año de 1870, que constituye un jalón importante en el desarrollo de las biotecnologías. Para 1900 se descubren las aplicaciones de ácidos orgánicos y solventes; los antibióticos y vitaminas se obtienen en 1950.

De fundamental importancia para la evolución de la biotecnología lo constituye el descubrimiento de la estructura del ADN, realizado por Watson y Crick, que en 1953, después de una serie de investigaciones, propusieron el modelo de la doble hélice para el ADN. Este descubrimiento posibilita el surgimiento de la biología molecular.

En el año de 1960 se tuvieron importantes aportes en aminoácidos, enzimas y vacunas. El siguiente suceso fue el descubrimiento de las enzimas de restricción en 1971, que anunció el advenimiento de una tecnología que se convertiría al paso de los años en una poderosa herramienta en los trabajos de biología y genética molecular: la ingeniería genética (Esparza, 1991).

En 1973 se logra la clonación del primer gen por medio de ingeniería genética. El primer anticuerpo monoclonal fue generado en 1975. En estos años, Cohen y Boyer, a través de trabajos científicos con bacterias "...establecieron las bases de la tecnología del ADN recombinante..." (Paredes, 1990, pp. 1144-1145).

Los avances científicos registrados hasta este momento, así como el futuro promisorio que representaban en el terreno económico provocó el nacimiento de empresas biotecnológicas, registrándose la primera en el año de 1976. En 1981 se aprueba por primera vez el uso de anticuerpos monoclonales para diagnóstico. Dos años después, en 1983, se obtiene la insulina humana por medios biotecnológicos.

En el año de 1988 se logran producir nueve productos para la salud humana, así como un total de 200 sistemas de diagnóstico a través del uso de anticuerpos monoclonales. También en este año se llevan a cabo pruebas de campo con algunas especies vegetales que fueron modificadas genéticamente.

Las empresas biotecnológicas proliferan con rapidez, sobre todo en los países desarrollados, de tal forma que para 1990 ya existían 1,000 empresas aproximadamente. Sin embargo, un estudio de Ernst & Young sobre la industria biotecnológica estadounidense reporta que solo en este país existían, para el mismo año, más de 1,100 empresas (Kingbury, 1992).

A futuro, se considera que para el año 2 000 se tendrán nuevos productos para la salud humana; así también aparecerán semillas de cultivos básicos transformadas genéticamente. Se producirán nuevos agroquímicos, mucho más efectivos. Aparecerán nuevos materiales y productos químicos (Quintero, 1993).(Véase cuadro 2.1).

CUADRO 2.1: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA BIOTECNOLOGÍA.

Año	Principales aplicaciones
2000 a.c	Vino, pan y fermentación de productos lácteos. Fermentación alcohólica.
1870	Producción de vacunas.
1900	Ácidos orgánicos y solventes.
1950	Antibióticos y vitaminas.
1953	Modelo de la doble hélice para ADN.
1960	Aminoácidos, enzimas y vacunas
1973	Clonación del primer gen por ingeniería genética.
1975	Primer anticuerpo monoclonal.
1976	Creación de la primera empresa de biotecnología.
1981	Aprobación del uso de anticuerpos monoclonales para diagnóstico.
1983	Insulina humana. Transformación de vegetales por ingeniería genética.
1988	Nueve productos de uso terapéutico humano. Doscientos sistemas de diagnóstico por medio de la utilización de anticuerpos monoclonales.
1990	Aproximadamente operan mil empresas biotecnológicas en los países industrializados.
2000	Cien nuevos productos de uso terapéutico humano. Semillas de cultivos básicos transformadas genéticamente. Nuevos agroquímicos. Nuevos materiales y productos químicos.

Fuente: Quintero, 1993; p. 17.

Varios autores clasifican el devenir histórico de la biotecnología en etapas, tomando acontecimientos de capital importancia o que representan un jalón importante en el desarrollo de la biotecnología para determinar donde inicia y termina cada una de ellas. Entre algunos de estos acontecimientos están los descubrimientos de Pasteur, el descubrimiento de los antibióticos, el ADN recombinante, etc. Lo anterior se presenta en el cuadro 2.2, elaborado por Paredes (1990) donde se observa el desarrollo de la biotecnología a través de siete etapas.

Existe un proceso acumulativo de conocimiento y avances científicos que se remontan a más de 22 siglos, cuyo dinamismo se acelera gracias al surgimiento de la biología molecular, que lleva a la creación de la ingeniería genética, además de otras tecnologías que conforman un conjunto de herramientas que tendrán profundas implicaciones en industrias y ramas de la actividad económica (Jaffé y Trigo, 1994).

CUADRO 2.2: ETAPAS DE LA BIOTECNOLOGIA

Clasif.	Etapas	Años	Productos/Tecnologías
Primera	Anterior a Pasteur	Antes de 1865	Bebidas alcohólicas (cerveza, vino), productos lácteos (queso, yoghurt) y otros productos fermentados (levaduras, vinagre).
Segunda	Posterior a Pasteur	1865-1940	Etolanol butanol, acetona, glicerol, ácidos orgánicos (ácido cítrico) y tratamiento aeróbico de efluentes.
Tercera	De los antibióticos y de los esteroides	1940-1960	Tecnología de fermentación sumergida, penicilina y una gran variedad de antibióticos, tecnología para el cultivo de células animales, vacunas vírales y transformación microbiana de esteroides.
Cuarta	Nvas tecnologías después de los antibióticos	1960-1975	Proteína unicelular, aminoácidos, enzimas (detergentes), enzimas inmovilizadas (isomerasa), tecnología celular, tratamiento anaeróbico de efluentes (biogás), polisacáridos bacterianos (goma y xantana) y gashol.
Quinta	Tecnología del ADN recombinante	1975-1990	Insulina y renina.
Sexta	Ingeniería de proteínas/biología molecular	1980-1990	Subtilisinas modificadas.
Séptima	Biología atómica	2000	Nuevas rutas metabólicas para productos biotecnológicos finos.

Fuente: Paredes 1990, p. 1144.

En fechas recientes se ha dado un cúmulo de acontecimientos que se insertan en lo que se ha denominado agrobiotecnología moderna. Quintero (1993) presenta un informe de aquellos acontecimientos, que sucedieron en el período comprendido entre 1980 a 1988.

- Éstos constituyen el cuadro 2.3.

CUADRO 2.3: PRINCIPALES AVANCES EN AGROBIOTECNOLOGIA MODERNA (1980-1988)

Año	Acontecimiento
1980	La Suprema Corte de Estados Unidos de América acepta patentar los microorganismos bajo la ley existente. Se otorga la patente Cohen/Boyer que cubre las técnicas para la tecnología de ADNr.
1982	a) Primera vacuna animal obtenida por tecnología recombinante aprobada para venta comercial (colibacilosis). b) Primer producto recombinante farmacéutico aprobado para el uso humano (insulina). c) Primera transferencia exitosa de un gen animal de una especie a otra (ratón transgénico). d) Primera transformación y regeneración de plantas.
1983	Primera transferencia de un gen vegetal de una especie a otra.
1985	La oficina de patentes de EE.UU. extiende patentes a plantas transformadas por ingeniería genética.
1986	a) Cerdos transgénicos con gen de la hormona de crecimiento humano. b) Primer ensayo de campo en EE.UU. con plantas transgénicas..
1987	a) La oficina de patentes de EE.UU. extiende patentes a animales transformados por ingeniería genética. b) Primer ensayo de campo con microorganismos transformados genéticamente.
1988	Primer microorganismo modificado genéticamente que se aprueba para la venta comercial como agente de biocontrol contra una enfermedad vegetal (en árboles frutales).

FUENTE: Quintero; 1993, p. 20

La biotecnología es la conjunción de varias ciencias tales como la bioquímica, la ingeniería química, la biología molecular, la microbiología y todas aquellas que tienen que ver con la vida. Ellas interactúan en la búsqueda de un fin: obtener una aplicación tecnológica (Añé, 1992). Lo anterior se sintetiza en el cuadro 2.4, donde aparecen las ciencias básicas que concurren en las tecnologías de la vida, así como los métodos y procesos que aporta cada ciencia.

CUADRO 2.4: CIENCIAS BASICAS Y PROCESOS UTILIZADOS EN BIOTECNOLOGIA

Ciencias básicas	Métodos y procesos
Microbiología	Mutación, selección, conjugación, programación de plásmidos, clonación y transformación.
Virología	Trasducción, propagación de virus, vectores y aislamiento de virus.
Genética molecular	Localización de genes, organización de genes y mecanismos de herencia.
Biología molecular	Biosíntesis de ADN, procesamiento de señalización, ARN y proteínas.
Inmunología	Reconocimiento y análisis de proteínas.
Enzimología	Enzimas de restricción, síntesis inversa, biosíntesis de ADN y ARN.
Biología celular	Cultivos celulares y clonación de hibridomas.
Bioquímica	Aislamiento y purificación de genes, caracterización de ADN, ARN y proteínas, síntesis de genes, modificación de ADN, ARN y proteínas.

Fuente: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, citado por Correa, 1989.

La biorrevolución se compone por una serie de técnicas que le dan cuerpo, entre ellas encontramos al cultivo de tejidos, el ADN recombinante, la ingeniería genética, anticuerpos monoclonales, fusión celular y biosíntesis de metabolitos secundarios y

procesos de fermentación. Estas se agrupan en ingeniería de fermentación, ingeniería genética, cultivo de células y tejidos e ingeniería enzimática.

Estas tecnologías se interrelacionan estrechamente. Técnicas o procesos descubiertos dentro del ámbito de la ingeniería genética, son utilizados para lograr avances en el área de fermentaciones o en la ingeniería enzimática. También logros obtenidos en cultivos de tejidos involucra el uso de la ingeniería genética o de otros campos.

El nombre genérico con el que se identifican cada una de las tecnologías, arriba mencionadas, denota con claridad su campo de acción. La ingeniería de fermentaciones se dedica al mejoramiento de los procesos fermentativos que utiliza la industria alimentaria, por lo que su atención esta centrada en la manipulación y descubrimiento de nuevas cepas de bacterias y microorganismos.

Por su parte, la ingeniería genética se ocupa de la manipulación del genoma de las especies, a fin de inducir cambios planeados de acuerdo a objetivos específicos de investigación, tales como "...combinaciones genéticas para obtener mejores variedades, razas y nuevas especies vegetales y animales,..." (Añe, 1992, pp. 125-126).

El cultivo de células y tejidos se refiere a las técnicas que se utilizan con el fin de lograr plántulas o productos, gracias al cultivo de algunas partes o células de plantas o

animales. Es una forma de obtener variedades de plantas idénticas a la planta madre, es decir, la clonación de la especie.

La ingeniería enzimática tiene como fin la manipulación y mejoramiento de las enzimas, cuya función es la de acelerar reacciones químicas específicas, que tiene aplicación en la industria agroalimentaria.

Cada una de las ingenierías se apoya en varias técnicas, algunas son específicas para una tecnología en especial y otras son utilizadas por dos o más. Por ejemplo, el cultivo de células y tejidos hace uso de la organogénesis, que consiste en la reproducción de órganos, tales como raíces o retoños; de la embriogénesis somática, que no es más que la reproducción de una planta entera por medio de embriones adventicios o somáticos (Mendoza, 1994); la micropropagación; el cultivo de meristemas; la variabilidad somaclonal; androgénesis y ginogénesis, para producir plantas haploides; hibridación somática, a través de la fusión de protoplastos.

La ingeniería genética es una tecnología que actúa al nivel molecular, ya que se basa en la manipulación, transformación, inserción o creación de nuevas moléculas de ADN. Cuando el ADN es manipulado y transformado se le denomina ADN recombinante (ADNr); es decir, cuando está conformado por material de dos o más especies.

CUADRO 2.5: CARACTERISTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE INGENIERIA GENETICA

Tipos	Organismo completo	Ingeniería genética celular	Ingeniería genética molecular
Nivel	Organismo	Célula	Molécula
	Cruza y selección (procesos sexuales) Inseminación Transplante de embriones	Fusión celular Cultivo celular (procesos no sexuales)	Recombinación del ADN
Grado de control de la variación genética	Aleatoria	Semialeatoria	Dirigida
Conocimiento de la variación	Desconocida (impredecible)	Poco conocida	Conocida
Variación secundaria	Desconocida	Desconocida	Conocida
Ensayos requeridos	Muchos	Número intermedio	Pocos
Restricción según especie	Principalmente dentro de una especie	Dentro y entre especies	Dentro y entre especies
Características tecnológicas	Intensivo en trabajo; lento	Moderadamente intensiva en uso de mano de obra. Uso de calificaciones profesionales	Intensiva en investigación y conocimientos

Fuente: Hardy y Glass 1985; citado por Quintero, 1993, p. 36.

Es necesario mencionar que existen tres niveles de ingeniería genética: Ingeniería genética del organismo completo (mejor conocido como mejoramiento genético tradicional), ingeniería genética celular e ingeniería genética molecular. Su diferencia

estriba en la especificidad y control de proceso de transformación del vegetal. En el cuadro 2.5 se citan las diferencias de las tres ingenierías genéticas.

Existen varias formas de manipulación de la sustancia que regula la herencia, lo cual determina las diversas técnicas de la ingeniería genética. Por ello se tienen técnicas de transformación mediante vectores, fundamentalmente la utilización de *Agrobacterium* y virus. También se utiliza la transformación directa por medio de la fusión de protoplastos, la electroporación, la transferencia electroforética, la microinyección y la polinización con plasmidio.

La manipulación del *Agrobacterium* para obtener plantas transgénicas a tenido éxito en muchos casos, abarcando desde leguminosas, crucíferas y solanaceas. También se mencionan casos de cereales como el arroz. La utilización de esta bacteria se esta convirtiendo en rutinario ante los espectaculares adelantos que se han logrado en el manejo y control de la transformación del microorganismo y ponerlo a trabajar para el beneficio de la agricultura.

Algunos ejemplos exitosos de plantas transformadas vía *Agrobacterium* son los siguientes:

- Leguminosas: Soya silvestre, soya, frijol, *Stylosanthes*, lotus, alfalfa, sesbania, vigna y trébol.
- Crucíferas: Colza, brócoli y arabidosis.

- Solanaceas: Papa, petunia, tabaco, tomate, chile y tomate de cáscara.
- Otros: Zanahoria, lechuga, pepino, chopo, nogal, *Fragae*, girasol, lino, remolacha y algodón. (Quintero, 1993).

Otra técnica importante es la regeneración vía callo (también conocida como organogénesis), donde se utiliza una parte de la planta con el fin de generar una planta completa. Los explantes o partes de la planta que han sido utilizados con mayor frecuencia son: flor, hipocótilos, raíz, semilla, tallo, bulbo, hoja, cotiledón y embrión maduro e inmaduro, tallo y peciolo, entre otros.

Por este medio se lograron regenerar las siguientes plantas: Abedul, abeto, acacia, agave, ajo, alfalfa, almendra, arroz, avena, begonia, brócoli, cacahuete, cactus, caña de azúcar, cebada, coliflor, col, chícharo, digitalis, frijol, geranio, limón, lino, maíz, manzana, nabo, papa, petunia, pimienta, pino, piña, puerro, rábano, remolacha, rosa, sorgo, tiquisque, tomate, trébol blanco, trigo, zanahoria y zarzamora, entre otras (Idem).

A últimas fechas se está haciendo uso de la técnica de regeneración de plantas a través de protoplastos, cuyos resultados más significativos se tuvieron en alfalfa, arabidosis, belladona, berenjena, digitalis, espárrago, geranio, nabo, naranja, papa, petunia, pimienta, tabaco, tomate, trébol, yuca y zanahoria (Ibídem).

Por medio de estas técnicas de regeneración se logra producir nuevas variedades, gracias al proceso conocido como variación somaclonal. " La técnica de variación somaclonal consiste en formar, a partir de una célula o un pedazo de tejido vegetal, un callo y/o embriones somáticos, a través de los cuales se pueda inducir el desarrollo de una planta adulta. La alta tasa de división celular de estos callos genera cambios genéticos, los cuales confieren a las plantas regeneradas características diferentes de la planta original. De esta manera se pueden seleccionar nuevas variedades con mejores características" (Ibídem, p. 147).

Es necesario hacer mención que existen varias técnicas que se usan como auxiliares, ya que éstas ayudan a conocer en forma más precisa como está organizado el genoma de la especie en estudio, de tal forma que las transformaciones a realizarse sean más exactas y rápidas.

Existen técnicas indirectas del análisis genómico, que utilizan isoenzimas, enzimas y proteínas, como marcadores genéticos. Otras son las técnicas directas, las cuales hacen uso de marcadores moleculares, que dan como resultado un "mapa" del genoma. Algunos marcadores son: Marcadores de Polimorfismo en la Longitud de los Fragmentos por Restricción (RFLP); mediante Reacción de Cadena de Polimerasa (PCR); microsatelites; y ADN Polifórmico Amplificado al Azar (RAND) (Mendoza, 1994).

Se podría pensar que una tecnología tenga incidencia solo en un sector de la economía, sin embargo, esto no es así, ya que un descubrimiento o avance científico de algunas de las tecnologías que conforman la biotecnología impactan a varios sectores económicos.

La biotecnología guarda una serie de potencialidades y posibilidades productivas tanto para el sector salud, industrial, agropecuario y servicios. Esto queda plasmado en el cuadro 2.6

CUADRO 2.6: SECTORES Y CAMPOS DE ACTIVIDAD DE LA BIOTECNOLOGIA

Sector	Campos de actividad
Químico	Etanol, acetona, butanol, ácidos orgánicos (málico, cítrico, glutámico), enzimas y biopolímeros.
Farmacéutico	Antibióticos, agentes de diagnóstico (anticuerpos, enzimas), inhibidores de enzimas, esteroides y vacunas.
Energético	Etanol, metano (biogás) y biomasa.
Alimentario	Cultivos iniciadores, bebidas (alcohólicas), levadura de panificación, aditivos (antioxidantes, colorantes, sabores), aminoácidos y vitaminas, modificación funcional de proteínas, eliminación de toxinas, almidones y pectinas.
Agrícola	Vacunas veterinarias, ensilaje y compostación, plaguicidas microbiales, rizobios y otros fijadores de nitrógeno, micorrizas, hormonas vegetales (ácido giberélico), cultivo de tejidos y células.
Minero	Beneficio de metales, biolixiviación y recuperación de petróleo.
Servicios	Purificación de aguas, tratamiento de efluentes, manejo y uso de desechos.

Fuente: CEPAL. Reproducido por Correa, 1989. p. 998.

A su vez Quintero presenta las principales aplicaciones de la biotecnología por sector económico, destacándose el agrícola, pecuario, salud y alimentos. El primero tiene que

ver con la reproducción vegetal, la fertilización, el control de plagas y producción de metabolismos. En el cuadro 2.7 queda de manifiesto las aplicaciones más importantes de la biotecnología en los sectores arriba mencionados.

CUADRO 2.7: PRINCIPALES APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGIA EN DIVERSOS SECTORES PRODUCTIVOS (1989).

Sector	Subsector	Principales productos
Agrícola	Reproducción vegetal	Regeneración de plantas; plantas transgénicas; semillas mejoradas.
	Fertilización	Reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados; nuevos agroquímicos.
	Control de plagas y enfermedades	Plantas resistentes a plagas y plaguicidas, otros; nuevos biocidas (insecticidas, fungicidas y otros).
	Producción de metabolitos	Metabolitos secundarios vegetales farmacéuticos, saborizantes, fragancias.
Pecuario	Reproducción animal	transferencia de embriones; selección de sexo; animales transgénicos.
	Salud animal	Control de enfermedades; sistema de diagnóstico vacunas, agentes virales.
	Alimentación animal	Promotores del crecimiento; esquilmos y residuos agrícolas enriquecidos.
Salud	Medicina terapéutica	Cincuenta a ochenta nuevos principios activos, que son proteínas del sistema inmunológico humano.
	Medicina preventiva	Treinta vacunas, cien a doscientos sistemas de diagnóstico basados en sondas de ADN y anticuerpos monoclonales, terapéutica génica.
Alimentos	Proteínas	Nuevas fuentes de proteína para consumo humano; nuevos sistemas de producción de aminoácidos.
	Edulcorantes	Nuevos edulcorantes no calóricos.
	Aditivos	Proteína y derivados sustitutos de grasas, biopolímeros; nuevos sabores y fragancias.
	Transformación	Uso generalizado de enzimas para modificación de alimentos, dándoles nuevas características organolépticas.

Fuente: Quintero, 1993, p. 22.

Como la biotecnología se encuentra en ciernes son contados los casos en que se tiene información sobre mercados, precios, costos y demás indicadores que proporcionen los datos suficientes para hacer una evaluación sobre rentabilidad del producto o proceso biotecnológico.

Generalmente se tienen proyecciones del impacto que la tecnología tendrá en el mercado, ya sea nacional o mundial. Quintero cita un estudio prospectivo de los impactos que se presentarán por algunos productos biotecnológicos en el mercado mundial. Por ejemplo en productos farmacéuticos se estima que los productos cardiovasculares llegarán a tener un mercado de US\$70,600 millones para el año 2000. En productos agrícolas las plantas y semillas llegarán a ostentar un mercado de US\$26,750 millones para el mismo año (Véase cuadro 2.8).

CUADRO 2.8: IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGIA EN MERCADOS ESPECIFICOS (1989)

Productos	Mercado mundial (millones de US\$)	
	1995	2000
<i>Productos farmacéuticos</i>		
Anticancerígenos	9,500	15,500
Antiinfecciosos	22,000	30,750
Cardiovasculares	45,000	70,600
Sistema nervioso central	16,900	23,100
<i>Productos químicos</i>		
Aminoácidos	750	900
Enzimas industriales	500	700
<i>Productos agrícolas</i>		
Insecticidas/herbicidas	21,200	31,000
Plantas y semillas	19,000	26,750
Fertilizantes	34,000	45,000

Fuente: Hayenga 1988. Citado por Quintero, 1993, p. 23.

La información contenida en este cuadro indica que el mercado mundial de algunos productos farmacéuticos será de US\$139,950 millones, en productos químicos de US\$1,600 millones y en productos agrícolas de US\$102,750 millones para el año 2000.

Los mayores avances logrados por la nueva revolución tecnológica se ubica en el sector salud, donde se han logrado elaborar nuevas vacunas y medicamentos utilizando ingeniería genética.

"Se han explotado...cinco áreas: a) nuevos sistemas de diagnóstico, que incluyen kits de diagnóstico por enzimas, anticuerpos monoclonales y sondas de ADN; b) nuevas vacunas y sueros, tales como hepatitis B, ya en el mercado, y SIDA, paludismo, influenza y amibiasis, en diferentes fases de desarrollo; c) proteínas con efectos terapéuticos específicos (insulina humana, TPA, EPO, hormona de crecimiento humano, interferones); d) bioelectrónica, biosensores, e inmunología (nuevos órganos implantables y terapia contra alergias); y, e) antibióticos (uno de los mercados más grandes en fármacos)" (ITA No. 9-ITESM; 1993; pp. 1-2).

Gracias a los estudios biotecnológicos diversos microorganismos, después de ser manipulados genéticamente, tienen usos específicos, tales como la eliminación de basura y otros contaminantes. "En este sentido, existen bacterias capaces de digerir sustancias ultratóxicas, como las dioxinas, y transformarlas en moléculas totalmente inofensivas" (Thumshirn, 1994, p. 21). También existen aquellas que degradan el petróleo, que

pueden ser usadas en la limpieza de los derrames del hidrocarburo en el mar o en otros lugares. Así mismo es común el uso de bacterias en el tratamiento de aguas negras y descargas industriales.

Por esto la biotecnología tiene un papel de primer orden en el combate de la contaminación y la preservación de los ecosistemas.

Con respecto al sector industrial, en especial el agroalimentario, se tendrán repercusiones importantes. Entre ellas se mencionan las siguientes:

- 1) Obtención de sucedáneos de productos agrícolas (tal es el caso de los edulcorantes).
- 2) Producción de metabolitos secundarios a través del cultivo de tejidos.
- 3) Obtención de productos agropecuarios con las características deseadas por la industria.
- 4) No estar sujeta a los vaivenes agroclimáticas que en la actualidad determinan la cantidad, calidad y tiempos de producción agropecuaria.

El sector agropecuario se ve implicado en la biorrevolución gracias a que la biología molecular a generado un cúmulo de conocimientos, con los cuales se logra un mayor entendimiento de los mecanismos biológicos que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, de fundamental importancia para aquellos vegetales que la humanidad utiliza en sus actividades económicas. En base a dichos conocimientos se han logrado varios productos que se pueden agrupar en los siguientes rubros:

- a) De control biológico.
- b) Bioinsecticidas.
- c) Plantas transgénicas.
- d) Plantas con características que le confieren mayor valor agregado.
- e) Semillas artificiales.
- f) Plantas transformadas por transferencia múltiple de genes.
- g) Producción de drogas, fragancias y colorantes.
- h) Obtención de especies mejoradas (Quintero, 1993).

Muchos estudiosos del tema (Quintero, 1993; Casas, 1993; Arroyo, 1989) coinciden en considerar que en el futuro el sector que tendrá mayor incidencia de la nueva revolución tecnológica será el sector agropecuario. Gonzalo Arroyo considera que el mercado agropecuario para la biotecnología será de 100 mil millones de dólares para el año 2000.

La mayoría de las características de importancia económica de los vegetales que actualmente son explotadas por el sector agropecuario, son multigénicos. Es decir, son características determinadas por más de un gene. Ello se convierte en un obstáculo para los avances de la agrobiotecnología, ya que en la actualidad sólo se ha podido trabajar con un gene.

Dicha problemática debe ser resuelta por las investigaciones llevadas a cabo dentro de las ciencias básicas, tales como la biología molecular, bioquímica, genética molecular, etc.

Quintero realizó un estudio prospectivo a través de un cuestionario que se envió a expertos en agrobiotecnología, solicitando su opinión sobre la contribución futura de la biotecnología e ingeniería genética en la producción agrícola para el año 2007, basado en tres escenarios: más tecnología, como la actual y menos tecnología.

El primer caso significa un aumento sustancial en gasto para ID y un ambiente favorable para la adopción nuevas tecnologías. En cambio, el tercer escenario significa una disminución en los gastos para ID o su crecimiento es por abajo del actual y un ambiente desfavorable a la adopción del progreso tecnológico (véase cuadro 2.9).

Se abordan aspectos como resistencia a enfermedades, resistencia a plagas, resistencia a virus, tolerancia a sequía y frío, tolerancia a herbicidas, mejoramiento del patrón de aminoácidos, mejoría en la capacidad de asimilación de nutrimentos, mejora en la capacidad de fijación biológica de nitrógeno y eficiencia fotosintética.

También se han realizado estimaciones sobre los tiempos en que estarán listos productos y/o procesos biotecnológicos, desde el punto de vista técnica y comercialmente. En el aspecto técnico se consideró que las fechas probables para que sea posible la detección

de contaminantes orgánicos, microbianos y otras toxinas en alimentos; plantas resistentes a plagas; nuevos y/o mejorados saborizantes y fragancias; plantas resistentes a herbicidas; edulcorantes, entre otros, se sería antes de 1990.

Sin embargo, son escasos los ejemplos de productos que para antes de 1990 estuvieron disponibles comercialmente. Solo el uso de anticuerpos monoclonales o sondas de ADN para detectar contaminantes que apareció en el mercado en 1989 (Quintero, 1993).

Algunos ejemplos de productos que ya están en el mercado son:

- Tomate, con mayor duración en anaquel, en 1993.
- Nuevos edulcorantes, en 1991.
- Maíz resistente a insectos, enfermedades y herbicidas, en 1995.
- Aceites alimenticios con incrementos de los niveles de saturación.
- Hormona de crecimiento bovino.
- Plantas resistentes a herbicidas, en 1991.
- Plantas resistentes a plagas, en 1992. (Quintero, 1993; OECD, 1995).

No sólo los logros que pueda arrojar la investigación biotecnológica en la creación de nuevas plantas con características superiores, son requeridas por el empresario agrícola, sino también el apoyo que puede brindar para el trabajo de mejoramiento genético tradicional.

CUADRO 2.9: BIOTECNOLOGIA: ESCENARIOS Y CONTRIBUCION FUTURA

Aspectos	Escenarios		
	Más tecnología	Como la actual	Menos tecnología
Resistencia a enfermedades			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	1	2
• Ingeniería genética	1	2	3
Resistencia a plagas			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	1	2
• Ingeniería genética	1	1	2
Resistencia a virus			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	1	1
• Ingeniería genética	1	1	2
Tolerancia a sequía y frío			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	1	2
• Ingeniería genética	3	3	4
Tolerancia a herbicidas			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	1	1
• Ingeniería genética	1	1	2
Mejoramiento patrón de aminoácidos			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	1	1
• Ingeniería genética	1	1	2
Mejoría en la capacidad de asimilación de nutrimentos			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	2	2
• Ingeniería genética	2	3	4
Mejora en la capacidad de fijación biológica de nitrógeno			
• Leguminosas	1	2	3
• No leguminosas	3	4	4
Eficiencia fotosintética			
• Método <i>in vitro</i> (fitomejoramiento)	1	2	2
• Ingeniería genética	3	4	4

Notas: Cada escenario fue calificado con base en el riesgo, con una escala de 1 a 4, donde:

- 1: Significa que con seguridad se logrará el objetivo.
- 2: Indica que es probable alcanzar el objetivo.
- 3: Denota que es improbable llegar al objetivo en el período propuesto.
- 4: Señala la imposibilidad de lograr el objetivo.

FUENTE: Gotsch y Rieder 1989. Citado por Quintero, 1993, p. 72.

En este sentido, es de suma importancia sus contribuciones en germoplasma a través del cultivo *in vitro*, micropropagación e identificación de enfermedades y erradicación. Así como la generación de bancos génicos, diagnósticos moleculares, RFLP's, rescate embrionario, selección en cultivo de tejidos, variación somaclonal, transferencia de genes, cultivo de anteras y fusión de protoplastos.

En mejoramiento es importante el diagnóstico molecular, derivación de líneas por cultivo de tejidos, transferencia de genes, variación somaclonal, cultivo de anteras, mapeo con RFLP's, eliminación de patógenos y micropropagación.

En prácticamente todo el orbe se investiga con plantas con el fin de obtener la solución a los ingentes problemas mundiales que se presentan en el aspecto agroalimentario, así como en materia de salud. En algunas partes ya se tienen resultados concretos (países desarrollados), pero en la mayoría están en la fase de ensayo de campo. Para 1993, la base de datos de la Green Industry Biotechnology Platform (GIBIP) reportó que a nivel mundial se realizaron 1,025 ensayos de campo con organismos modificados mediante ingeniería genética (DGSV, SAGAR, 1995).

El cuadro 2.10 contiene información de ensayos de campo por región y algunos países, mostrando una superioridad en el número de ensayos la región de Norte América.

**CUADRO 2.10: NUMERO DE ENSAYOS EN CAMPO DE PLANTAS
TRANSGENICAS**

País	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	TOTAL
Norte América									
EUA	3	9	12	21	32	66	107	135	385
Canadá	0	0	4	13	17	17	26	42	119
México	0	0	0	0	1	1	4	7	13
Total	3	9	16	34	50	84	137	184	517
EU/EFTA									
Francia	2	5	9	14	26	31	22	29	138
Bélgica	0	1	4	9	14	14	12	14	68
Reino Unido	0	1	1	4	11	13	13	11	54
Holanda	0	0	1	1	1	13	16	20	52
Otros	0	0	3	7	12	8	21	28	79
Total	2	7	18	35	64	79	84	102	391
Centro y Sudamérica									
Argentina	0	0	0	0	0	5	8	8	21
Chile	0	1	0	0	1	5	5	6	18
Otros	0	0	0	0	1	6	7	6	20
Total	0	1	0	0	2	16	20	20	59
Borde Pacífico									
China	0	0	0	1	1	2	6	9	19
Nueva Zelanda	0	0	4	3	2	1	1	1	12
Australia	0	0	0	0	0	1	3	6	10
Japón	0	0	0	0	0	1	1	5	7
Total	0	0	4	4	3	5	11	21	48
Este Medio/Africa									
Total	0	0	0	0	1	3	1	5	10
Total Mundial	5	17	38	73	128	187	253	332	1025

FUENTE: Dirección General de Sanidad Vegetal, SAGAR, 1995.

De ahí la importancia que el sector empresarial y los gobiernos de los países desarrollados le han conferido a la biotecnología. Por lo cual los mayores avances se han logrado en estos países, ya que poseen las características que son imprescindibles para el surgimiento y desarrollo de estas tecnologías.

2.2. CENTROS MUNDIALES DE DESARROLLO BIOTECNOLÓGICO: LOS PAÍSES DESARROLLADOS

- Los países desarrollados se han convertido en los principales impulsores de la biotecnología, debido a que poseen las características necesarias para abocarse al estudio y desarrollo de la biotecnología.

Estas características son: la disponibilidad de recursos humanos altamente calificados; disponibilidad de capital de riesgo (Kingbury, 1992); gobiernos interesados en el desarrollo de la biotecnología, lo que se traduce en que dicha área sea considerada como prioritaria para el desarrollo del país.

A nivel mundial se pueden observar 3 zonas, que van marcando la pauta en los avances biotecnológicos. A saber: Estados Unidos y Canadá, Unión Europea y Japón. De ellos, es indudable el liderazgo de los Estados Unidos, cuya posición se ve amenazada por los avances obtenidos por Japón, sobre todo en microbiología y la producción de medicamentos.

De hecho, la "...superioridad de los Estados Unidos [es] en el desarrollo de la biotecnología vegetal en oleaginosas y cereales; [en cambio]...el empuje europeo en materia de biotecnología en relación con los productos agroquímicos y la primacía

japonesa en los productos de fermentación y la biotecnología orientada hacia la horticultura y los metabolitos secundarios" (OCDE, 1993, p. 165).

- Por ello es importante conocer el comportamiento que se tiene en estos países o regiones, donde se abordarán los aspectos gubernamentales, industriales y educativos.

2.2.1 ESTADOS UNIDOS:

El gobierno estadounidense cuenta con 12 agencias federales y un programa horizontal, que invirtieron en 1988 un total de 2.7 miles de millones de dólares, destinados al desarrollo e investigación en biotecnología. Por su parte un estudio reciente indica que la inversión federal en biotecnología agrícola para 1993 fue de \$207.5 millones de dólares, con una inversión del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) de \$119.5 millones de dólares (Brenner y Komen, 1994).

Cuenta con una ley que protege las patentes y títulos de obtención de especies vegetales y existe un proyecto federal, donde se incluye financiamiento; una política a favor de la propiedad industrial; la difusión y vinculación de los desarrollos científicos con la industria; creación de la infraestructura requerida, generalmente especializada; así como polos de desarrollo. Un ejemplo de un proyecto federal es el genoma humano (ITA No. 9-ITESM, 1993).

En el sector industrial existen 400 compañías y 80 corporaciones, que tienen que ver con biotecnología. Un estudio realizado en 1990, citado por Kingbury (1992), menciona que hay más de 1100 empresas relacionadas con la biotecnología, las cuales dan empleo a 60 000 personas aproximadamente.

La industria estadounidense invierte entre 1.5 y 2 mil millones de dólares al año en investigación y desarrollo en biotecnología (ITA No. 9-ITESM, 1993). Los resultados de una encuesta realizada en 1987, en 348 empresas, indica que se realizó una inversión de 1,200 millones de dólares, de los cuales 252 millones corresponden al sector farmacéutico (Correa, 1989). Lo anterior se consigna en el cuadro 2.11.

CUADRO 2.11: ESTADOS UNIDOS: GASTOS EN ID DE LA INDUSTRIA EN 1987 (millones de dólares)

	Empresas de biotecnología		Otras grandes empresas¹	
	Valor	Núm.	Valor	Núm.
Farmacéutica	252	63	208	14
Diagnóstico	216	52	88	6
Química	84	20	168	11
Plantas	96	24	104	7
Animales	72	19	64	4
Especialidades químicas	114	34	32	2
Tratamiento de desechos	12	3	16	1
Equipamiento	48	12	16	1
Cultura celular	24	5	16	1
Otros	264	44	88	6
Total	1200	296	800	53

1. De una encuesta de 348 empresas.

FUENTE: OTA. Citado por Correa, 1989. p. 994.

Una de las más fiables estimaciones sobre los gastos en ID de algunas de las más grandes compañías estadounidenses en la industria biotecnológica (sin incluir compañías de pesticidas y semillas), indica que las erogaciones financieras de las bioempresas se comportaron positivamente, observándose un crecimiento en los gastos con respecto a 1991 en prácticamente todas las empresas (véase cuadro 2.12).

CUADRO 2.12: GASTOS DE COMPAÑÍAS EN ID
(Millones de dólares)

Compañías	Gasto en Investigación y Desarrollo			
	Gastos 1992	Cambios con resp. a 1991 (%)	% con respecto a ingresos	Por empleado(\$)
Agrobiotecnológicas				
Agridyne technologies	4.008	20.3	325.6	62,625
Biosys	2.554	11.6	56.1	ND
Calgene	9.256	61.1	42.3	32,823
Crop Genetics International	6.511	8.9	206.6	72,344
DNA Plant Technology	9.134	41.1	76.4	63,874
DNX	6.121*	83.1	82.2	18,003
Ecogen	4.127	40.9	51.4	30,799
EcoScience	4.554*	127.4	3,098.0	65,057
Embrex	2.491	4.5	356.4	38,922
Escagenetics (3/91)	3.004	5.4	178.2	55,630
Idexx Laboratories	3.477	-9.9	6.0	10,934
Mycogen	8.500	28.8	25.0	7,529
Neogen (5/91)	0.993	15.9	15.0	9,548
Ringer	1.686	55.0	8.3	28,100
Syntro	2.129*	1.4	41.3	38,709
TOTAL	68.545	ND	ND	ND
PROMEDIO	4.570	39.6	298.8	38,634

Resultados del año fiscal 1992, excepto para los que se ilustran diferente

* ID incluye gastos patrocinados por clientes o el gobierno.

FUENTE: Brenner y Komen, 1994, pp. 31.

El sector educativo juega un papel primordial en la hegemonía estadounidense en este campo tecnológico, ya que cuenta con 60 programas en biotecnología, en un total de 49 universidades.

La población escolar que realizó estudios de posgrado en 1987 se calcula en aproximadamente 96,000 estudiantes, de los cuales, el 24% del total de graduados se relacionaban con la biotecnología (Rawis, citado por: ITA No. 9-ITESM, 1993).

Los recintos universitarios han cambiado su visión en cuanto a las relaciones con la sociedad y, sobre todo, con respecto a la iniciativa privada. De tal forma que éstas se han relacionado estrechamente con las grandes corporaciones industriales para realizar investigaciones de punta.

Ante esta situación las universidades y centros de investigación públicos han abandonado, en forma paulatina, su visión de recintos dedicados a la ciencia pura, cuyos resultados eran del bien público y cuyo principal motivo para investigar era un deseo de mayor conocimiento de la materia, de la vida y sus misterios. Así como resolver problemas que aquejaban a la humanidad. Pero de ningún modo los impulsaba un fin de lucro.

Con el advenimiento de la biotecnología y las grandes potencialidades que guarda, así como los cuantiosos recursos financieros que reclama su investigación y desarrollo, que

las universidades se vieron en la necesidad de allegarse recursos por medio de convenios con la industria.

- Se han firmado múltiples convenios y acuerdos entre universidades e industrias, donde éstas últimas aportan financiamiento para el desarrollo de proyectos científicos y los resultados que se obtienen son patentados por la industria que aportó los recursos económicos.

CUADRO 2.13: COLABORACION ENTRE UNIVERSIDADES Y EMPRESAS EN ESTADOS UNIDOS

Empresa	Universidad	Objeto
Allied Chemical	California (Davis)	Enzimología
Celanese	Yale	
Corning Glass, Eastman Kodak y Unión Carbide	Cornell	Creación de un instituto de investigación en biotecnología financiado por las tres empresas
Du Pont	California Institute Harvard Maryland	Biología molecular. Interferón. Interferón.
Engenics	Stanford	Creación de una sociedad.
FMG	Harvard	Creación de una sociedad.
Hybritech	Johns Hopkins	Fijación de nitrógeno.
Monsanto	Rockefeller Washington	Fijación de nitrógeno. Anticuerpos radiactivos, genética vegetal, anticuerpos monoclonales y microbiología ¹ .
Neogen	Michigan State	Creación de una sociedad.
Petrogen	Illinois	Creación de una sociedad y bacterias para extracción de petróleo.
Phillips	MIT	Bacterias para extracción de petróleo.

1. 23.3 millones de dólares.

FUENTE: Correa, 1989. p. 993.

Son innumerables los ejemplos de convenios suscritos entre universidades e industrias.

Uno de ellos fue el realizado por la Universidad de Cornell con Corning Glass, Eastman

- Kodak y Unión Carbide para la creación de un instituto de investigación en biotecnología, que fue financiado por las tres empresas (véase cuadro 2.13).

Otro ejemplo es el de la Harvard M. School que suscribió un convenio en 1974, con un monto de 23.5 millones de dólares, por 12 años, que fueron dedicados a la investigación de tumores cancerosos (Torres, 1989).

La industria financia un número importante de proyectos, con una asignación de recursos financieros considerables. "De acuerdo con un estudio de la Universidad de Harvard, la industria financiaba hasta 25% de la investigación en biotecnología de las universidades" (Correa, 1989, pp. 992). Dicho financiamiento es más cuantioso en las ciencias biológicas, de tal forma que las instituciones de ingeniería, medicina y agricultura obtienen, aproximadamente, el 86% de las aportaciones que realizan las industrias para la investigación" (Torres, 1989).

Aunado a lo anterior, es necesario mencionar que las empresas cuya actividad exclusiva es la biotecnología, nacieron gracias a la unión de algún empresario emprendedor y un científico de renombre, generalmente dedicado a investigar en el área biotecnológica.

Así fue como surgió la primera bioempresa, la Cetus, que "...fue fundada por el premio Nobel de física Donald Glaser y el bioquímico Ronald Cape". A su vez, "...la Genentech...surgió de la asociación de Herbert Boyer y el inversionista Swanson" (Correa, 1989, pp. 989).

Las primeras industrias biotecnológicas se debieron a la interacción entre científicos y capitales de riesgo. Es decir, a las inversiones de empresarios en industrias riesgosas pero prometedoras. Dichas empresas fueron pequeñas y dedicadas fundamentalmente a la investigación y desarrollo de procesos y productos de la biotecnología.

Pero, después de varios años, las predicciones económicas que se habían hecho sobre esta tecnología no se estaban cumpliendo, lo cual provocó que el apoyo inicial proporcionado por los empresarios en la bolsa de valores de Nueva York disminuyera, creando problemas en el desarrollo de las bioindustrias.

Ante esta situación, algunas industrias biotecnológicas fueron vendidas, principalmente a las grandes transnacionales químicas, petroquímicas, semilleras, farmacéuticas y agroalimentarias. Estas empresas que, al principio estuvieron fuera de esta nueva tecnología, han visto que es fundamental para la supremacía económica del futuro, por lo que han impulsado estrategias de tipo múltiple para introducirse a este promisorio campo de la biotecnología.

Dichas estrategias van desde la compra de las pequeñas empresas especializadas, inversiones conjuntas, inicio de sus propios programas de ID en biotecnología, obtención de los derechos de comercialización de los productos generados por bioempresas, financiamiento de la ID en institutos y universidades, así como una progresiva diversificación de sus actividades en varias áreas de la biotecnología (Correa, 1989).

Dentro de este marco se encuentran los siguientes hechos: " Monsanto e International Nickel adquirieron participaciones en Genentech;...Eli Lilly, BP, Sandoz, Sanofi, Orfan, ICI, Bristol Myers...compraron nuevas empresas de biotecnología o acordaron inversiones conjuntas con ellas;...algunas empresas transnacionales de diverso origen sectorial, iniciaron sus propios programas de ID,...por ejemplo, Dow Chemicals y Monsanto en química; Schering Plough, Farmitalia Carlo Erba, ICI, Sandoz y Ciba Geigy en farmacéutica, crearon capacidad propia en ID para biotecnología..."(ibídem, p. 990). De hecho Monsanto y Schering Plough son prácticamente empresas biotecnológicas; así como Merck, cuya actividad a virado hacia la biomedicina.

Ante esta situación, se vislumbra que serán las grandes transnacionales, que en la actualidad dominan en los sectores químico, farmacéutico y agroalimentario, los que dominarán la bioindustria. Es decir, las poderosas multinacionales también serán, en el futuro,"...poderosas compañías bioindustriales, cuya actividad se extenderá a los

distintos campos de las biotecnologías y abarcará la investigación, el desarrollo y la comercialización" (Sasson, citado por Correa, 1989, p. 993).

2.2.2 JAPÓN

El gobierno japonés ha incluido a la biotecnología dentro de sus prioridades. Es por ello que el Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI) denominó al año de 1981 como el de la biotecnología que de hecho, dio inicio a la primera etapa de la planeación biotecnológica con una duración de 10 años (ITA No. 9-ITESM, 1993).

En esta primera etapa, el gobierno invirtió un total de 128 millones de dólares (Torres, 1989) y se logró integrar dentro del programa a 14 empresas. Así, el gobierno japonés, a través de varias dependencias estatales ha tenido injerencia en la realización de investigaciones biotecnológicas, de tal forma que para 1987 se tuvo un incremento presupuestal, para este fin, de 15% (llegando a un total de 6,100 millones de yenes) (Correa, 1989).

El sector industrial japonés se caracteriza por estar abierto a los conocimientos generados por la ciencia de los países que se encuentran en la vanguardia científica y tecnológica.

Por otra parte, la industria de las fermentaciones se remonta a épocas remotas, de tal manera que en todo este tiempo se han acumulado conocimientos, por medio de los cuales Japón se ha distinguido como uno de los países más desarrollados en este rubro.

Esta situación es lo que ha posibilitado que Japón sea la segunda potencia en industria biotecnológica del mundo. En algunas áreas se encuentra a la vanguardia, tal como en la industria de fermentación, en la tecnología de cultivo de células y tejidos en suspensión, así como en la introducción de nuevos productos farmacéuticos (Correa, 1989; ITA No. 9-ITESM, 1993).

"Los aumentos espectaculares logrados en la productividad de los procesos de fermentación llevaron a Japón a la primera categoría mundial. En el campo farmacéutico, la industria japonesa arrebató el primer lugar a Estados Unidos en la introducción de nuevos productos farmacéuticos en los ochenta: mientras que en 1961-1980 este último estaba a la cabeza con 23.6% de los nuevos productos, en 1981-1983 Japón alcanzó un promedio de 27%, contra 16.5% del primero. Las empresas japonesas están entre las grandes productoras de antibióticos e interferones, entre otros fármacos" (Correa, 1989, p. 996).

A pesar de todo, existe una limitante para la competitividad de la industria biotecnológica del Japón: "...la falta de capital de riesgo y la menor experiencia internacional de sus empresas" (ibídem, p. 996).

Algunas de las empresas japonesas que utilizan la biotecnología son: la cervecera Kirin, que utiliza el 80% de su presupuesto en investigación biotecnológica; Ajimoto, empresa procesadora de alimentos, que ocupa el 50% de su presupuesto en investigación de aminoácidos y ácidos nucleicos; Kyowa Hakko Kogyo, empresa química cuyo monto invertido en biotecnología es del 70% de su presupuesto, que se centra en la investigación de hormonas de crecimiento, vegetales, bioingeniería, levaduras de pan y productos farmacéuticos (Solorzano, 1992).

Las ventas realizadas por estas tres empresas en 1987, fueron del orden de 8.4 billones de dólares, 3.1 billones de dólares, y 1.8 billones de dólares, respectivamente.

De hecho, la bioindustria japonesa está conformada por empresas ya establecidas como Mitsubishi Chemical, Sumitomo Chemical, Toyo Jozo, Toray Industries, Kyowa Hakko Kogyo, Kirin Breweries, Suntory, Ajimoto, Takeda Pharmaceutical, Shionogi Pharmaceutical y otras. Todas ellas son grandes consorcios industriales (ITA No. 9-ITESM, 1993).

Varios estudios reportan que en este país los esfuerzos se centran en la ciencia aplicada, dejando en segundo término a la ciencia básica. También se da énfasis a los convenios y relaciones comerciales que se puedan lograr con compañías occidentales y de países en desarrollo (ITA No. 9-ITESM, 1993; Torres, 1989; Correa, 1989).

El sector educativo japonés se caracteriza por ser de alto nivel, contando con 17 universidades, de las cuales un tercio son privadas. Dentro del ámbito de la biotecnología y bioingeniería se tienen 13 cursos de doctorado y 12 de maestría.

Por otra parte, gracias a los apoyos conjuntados en fechas recientes por 20 empresas japonesas, fue establecido el Instituto de Investigación en Proteínas, ubicado en Osaka. En este proyecto participan las 5 grandes corporaciones de Japón: Kyowa Hakko Kogyo, Takeda Chemical Industries, Toray Industries, Mitsubishi Chemical Industries y Ajimoto; así como la refinadora de petróleo Toa Nenro Kogyo (Correa, 1989).

Esta conjunción de esfuerzos trae como resultados que Japón sea considerado como uno de los principales focos de irradiación de productos y procesos biotecnológicos. Quizás no se caracterice por la obtención de descubrimientos espectaculares en las ciencias, pero sí en el uso pragmático de los conocimientos científicos generados en otros países para la creación de nuevos productos y procesos. Ahí radica su poderío tecnológico y comercial.

2.2.3 UNION EUROPEA

Los países europeos vienen a la zaga de los Estados Unidos y Japón, por lo que a través

de la unidad la Unión Europea se ha dado a la tarea de impulsar la investigación y desarrollo en biotecnología.

- En 1978 se crea la Federación Europea de Biotecnología, cuyas propuestas son adoptadas hasta 1981, lo cual dio nacimiento al Programa de Ingeniería Biomolecular de 1982-1986, dotado con 15 millones de ECUs que estuvo dirigido a la aplicación de la genética y enzimología al sector agroalimentario.

Posteriormente surge el Programa de Acción en Biotecnología, contando con 75 millones de ECUs, entre 1985 a 1988, cuyo fin fue la creación y fortalecimiento de infraestructura, bancos de microorganismos y de información.

Otro fue el Programa de Investigación e Innovación Biotecnológica para el Desarrollo y Crecimiento de Europa (BRIDGE), con un monto de 100 millones de ECUs, vigente entre 1990- 1994. Por último, el proyecto Eureka que incluye proyectos de biotecnología dotados con un financiamiento de 42 millones de dólares.

Dentro de los países que conforman la Unión Europea no hay homogeneidad en cuanto al interés sobre la biotecnología. Solo aquellos países que fomentan y apoyan a la industria nacional a través de aportaciones de capital de riesgo y estímulos fiscales han consolidado una bioindustria, siendo los países más avanzados Inglaterra, Alemania, Francia, los Países Bajos y Bélgica (ITA No. 9-ITESM, 1993).

Respecto al sector industrial se reporta que son importantes los montos invertidos por empresas privadas para ID, creando centros de investigación de alto nivel.

El sector educativo europeo se considera de alto nivel. Las universidades y los gobiernos mantienen esfuerzos tendientes a formar y fortalecer centros de investigación, así como contar con la infraestructura educativa más moderna.

Algunos ejemplos ilustrativos del papel que están jugando los países europeos son los siguientes:

- a) El gobierno del Reino Unido, apoyó con un 41% de capital para la creación de la empresa Celltech Ltd; así como la promoción de otras bioempresas, como la Bioscot.
- b) En Suecia, Kabigen surge gracias al aporte de 50% de capital realizado por la Kabi Vitrum, una compañía estatal.

La base de datos (Solleiro y Quintero, 1993) trae información referente a la participación gubernamental en el área biotecnológica de algunos países de la Comunidad Europea (hoy Unión Europea), abarcando aspectos como monto invertido, los tipos de apoyos otorgados a la educación, a la investigación, a la industria y otro tipo de apoyos. También hace referencia a la legislación en bioseguridad de cada país.

En base a la información contenida en el documento anteriormente enunciado se extrajeron los datos esenciales para conocer el comportamiento observado en cada país de la Unión Europea con respecto a la biotecnología.

BELGICA: Se tiene un monto invertido del orden de los US\$50 millones destinados a ministerios y gobiernos regionales, con la finalidad de apoyar a los centros educativos en la formación de recursos y la interrelación entre universidades. Asimismo se brinda apoyo a la investigación sobre todo en la formación de nuevos centros, así como apoyos a los ya existentes. También se considera de fundamental importancia tomar en cuenta la divulgación y el alertamiento sobre la situación que guarda la biotecnología. Cabe mencionar que la legislación en bioseguridad no es estricta.

DINAMARCA: Se han invertido US\$60 millones dirigidos a ministerios, universidades y centros gubernamentales, con la finalidad de coadyuvar a la formación de recursos en el sector educativo. El apoyo a la investigación está dirigido a la formación de centros, financiar a los que están en funcionamiento, a la creación de bancos génicos y bancos de datos. Asimismo se otorgan apoyos para los trabajos en tecnología biomolecular. Tiene una legislación en bioseguridad muy estricta.

ALEMANIA: Se tiene un monto invertido de US\$700 millones, dirigidos a organismos de gobierno. Estos fondos se destinaron a sufragar los gastos de la formación de recursos

humanos en el sector educativo, así como las investigaciones en las universidades, para la creación de fondos de inversión y formación de centros.

- GRECIA: A invertido 638 millones en moneda nacional dirigido a ministerios y centros del gobierno, con la finalidad de apoyar la educación en la repartición de científicos y elaboración de nuevos planes de estudio. En investigación, el apoyo se brinda para el establecimiento de centros y la repartición de científicos. Para la industria se destinan recursos a través de capital de riesgo y la formación de nuevas industrias. Su legislación de bioseguridad no es estricta.

ITALIA: El monto invertido es de US\$435 millones dirigidos a organismos gubernamentales e industrias, con la finalidad de apoyar la investigación cuya orientación esté dirigida a resolver prioridades de la industria, a trabajos en oncología (anticuerpos monoclonales y sondas de ADN), a estudios enzimáticos, para trabajos sobre enfermedades genéticas y estudios de drogas citotóxicas. Asimismo se proporciona apoyo a la industria en equipo e instrumentación para la investigación en biotecnología avanzada. Otros apoyos están destinados al genoma humano y agriprogramas. Su legislación en bioseguridad no es estricta.

ESPAÑA: Se ha invertido un monto de US\$63 millones dirigidos a empresas y centros de gobierno, apoyando la educación en el área de formación de recursos humanos. El apoyo a la investigación se canaliza al Centro Nacional de Biotecnología y a los centros

de excelencia. Así mismo se brindan a proyectos industriales. Otros están dirigidos a fortalecer y/o ampliar las relaciones industria-universidad. No es estricta su legislación en bioseguridad.

HOLANDA: Se ha invertido un monto de US\$20 millones dirigidos a organismos del gobierno. El apoyo a la investigación se dirige a orientar a las universidades a resolver problemas de la industria. También se proporciona a la industria a través de capital de riesgo de hasta un 45% de la inversión total, incluyendo empresas extranjeras que inviertan en el país. Su legislación en bioseguridad no es estricta.

FRANCIA: Cuenta con un monto invertido de 1000 millones de francos dirigidos a centros de investigación públicos (CEA, CNRS, INRA, INSERM, etc.). El apoyo a la educación está orientado a la formación de recursos, así como a áreas prioritarias de investigación, a la unificación de las líneas de investigación en los centros públicos de investigación y a la creación de bancos génicos y de datos. También se brinda apoyo para los proyectos de colaboración industria/investigación escuela.

REINO UNIDO: Tiene un monto invertido de 67 millones de libras dirigidos principalmente a ministerios de tecnología e industria, organismos de gobierno, compañías y clubes privados. En el sector educativo los apoyos que se brindan son para la formación de recursos. El apoyo a la investigación se dirige a bancos genéticos y de datos y a la creación de dos centros. Los beneficios otorgados a la industria es a través de

- capital de riesgo, 25% de deducción fiscal a compañías innovadoras nacionales y extranjeras, deducción fiscal del 50% a compañías nacionales en áreas de prioridad, a compañías semipúblicas para aprovechar lo generado en laboratorios públicos.
- Asimismo se proporciona apoyo a los programas de divulgación y alertamiento y al programa UNK. SOL, que tiene investigaciones en eucariotes, biotransformaciones, detección y diagnóstico e ingeniería de proteínas. Su legislación en bioseguridad no es estricta.

La mayoría de las empresas biotecnológicas que existen a nivel mundial son originarias de los países industrializados, marcando la pauta los Estados Unidos, Japón, Francia, Inglaterra y Alemania con 388, 105, 16, 56, 17 empresas, respectivamente (véase cuadro 2.14).

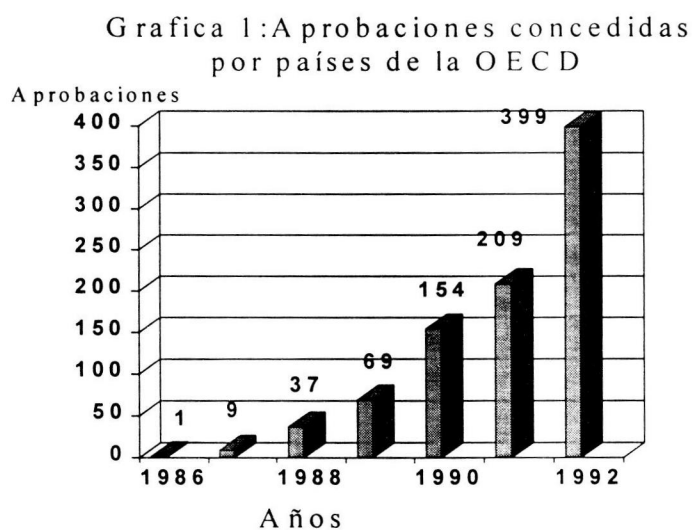
De esta forma se tiene un panorama de la situación que prevalece en las tres principales zonas líderes del desarrollo biotecnológico. Estos países se encuentran entre los que más aprobaciones han concedido para liberar al campo plantas transgénicas. Brenner y Komen (1994) reportan que de 1986 a 1992 se han concedido 1,257 aprobaciones y algunos casos son los siguientes:

- Plantas con tolerancia a herbicidas: 489, que equivale al 38.9% del total.
- Uso de marcadores: 382, que es el 30.4%.
- Resistencia a virus: con 115 que equivale al 9.1%.
- Resistencia a insectos: 89, que equivale al 7.1%.

CUADRO 2.14: TOTAL DE COMPAÑÍAS BIOTECNOLÓGICAS POR SECTOR

Sector	EUA	Japón	Francia	Inglaterra	Alemania
Agricultura	73	12	5	15	2
Químico	37	31	1	4	4
Diagnóstico	141	15	3	10	6
Alimentos	18	17	2	12	1
Farmacéutica	65	28	2	9	4
Veterinaria	54	2	3	6	0
TOTAL	388	105	16	56	17

Fuente: OCDE 1988. Citado por Persley, 1990, p. 50.



Fuente: Elaboración propia en base a información de Brenner y Komen, 1994.

Los mismos investigadores presentan un informe sobre las aprobaciones pero por cultivo resultando que el cultivo que más aprobaciones ha recibido es la canola, con 290,

seguida por la papa, con 133, el tabaco y tomate con 72, el maíz con 65. Posteriormente se tiene al lino, frijol soya, algodón y remolacha azucarera con 49, 40, 37 y 28 aprobaciones respectivamente.

De estos tres centros de desarrollo de la biotecnología se irradian los avances hacia el resto del mundo, con la salvedad de que la transferencia de estas tecnologías ya no es tan fácil hacia los países más atrasado, lo cual implica que éstos se involucren en la investigación y desarrollo en la biorrevolución.

3.- LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO

- En un mundo dominado por la tecnología, que marca la pauta del desarrollo económico
- y que vuelve imprescindible el dominio de éstas, fundamentalmente las denominadas de punta o frontera, que potencian las posibilidades para que los países subdesarrollados puedan acceder a un mayor nivel de desarrollo socioeconómico, hace necesario su estudio, que en este caso en particular abordará los aspectos relacionados con la biotecnología.

La biotecnología es una de las principales, sino la más importante, de las tecnologías de punta que reclama para su desarrollo una sólida base científica, punto vital dentro del esquema de desarrollo que impulsan los países industrializados.

Para México es importante tener preciso la situación que guarda la biotecnología tomando en cuenta las condiciones en que se encuentra el sistema de CyT, situación que fue analizada en el punto 1.4.

3.1 LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO

El estudio de la biotecnología se hará determinando la situación que prevalece en cuanto a políticas gubernamentales, el vínculo universidad-industria, el financiamiento y la formación de recursos humanos.

El gobierno mexicano no ha sido claro en su actitud ante la biotecnología. Diversos investigadores (Esparza, 1991; Torres, 19889; Eastmond, 1989), coinciden en señalar que la principal problemática a que se enfrenta la biorrevolución es la ausencia de una política nacional de desarrollo, lo que implica que no se tenga claridad en la definición de las líneas de investigación prioritarias para el país (Esparza, 1991). A su vez, provoca que los sectores no se articulen para definir las prioridades de investigación biotecnológica (Torres, 1989).

Sin embargo cabe aclarar que en algunos momentos se trató de dar la importancia que requiere esta rama del saber. Precisamente en 1984 se instituyó el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico (PRONDETYC) vigente hasta 1988, Dentro de sus prioridades nacionales incluía la biotecnología, estableciendo líneas específicas de investigación.

Tales líneas fueron las siguientes:

- Uso de productos agrícolas y desperdicios de productos forestales para alimento pecuario.
- Desarrollo de áreas de biotecnología como ingeniería genética, cultivo de tejidos e ingeniería enzimática.
- Apoyo en bioingeniería.
- Producción de proteína unicelular.
- Mejoramiento del uso de la caña de azúcar y sus subproductos (OECD, 1995).

En fechas más recientes se promovió la gestación de un programa de biotecnología. La iniciativa surge del seno del Consejo Consultivo de Ciencia de la Oficina del Presidente en 1990. Consideraban que se debería de incluir los sectores prioritarios y la definición de proyectos de interés nacional, que fueran técnica y económicamente viables.

Bajo estas premisas se propusieron 15 proyectos que cumplieran con las especificaciones de ser de interés nacional, de los cuales dos corresponden al sector agrícola y uno al forestal. En estas áreas se incluían proyectos de investigación para mejorar el cultivo del frijol, un programa para el control biológico de plagas en frutas y hortalizas.

A pesar de la importancia que reviste contar con un programa nacional de biotecnología, las recomendaciones no fueron tomadas en cuenta y hasta la fecha, no se cuenta con un plan directriz en biotecnología a nivel nacional.

La biotecnología en México es realizada por universidades e institutos de investigación, destacándose el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBT-UNAM), el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) unidad Irapuato y D.F., el Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas (CP), la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (UAAAN), entre otras.

El siguiente listado, sin ser exhaustivo, contiene a las principales universidades e institutos que realizan algún tipo de investigación biotecnológica.

- Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa
- Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco
- Facultad de Química, UNAM
- Facultad de Ciencias, UNAM
- Facultad de Medicina, UNAM
- Facultad de Ingeniería, UNAM
- Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, UNAM
- Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM
- Instituto de Química, UNAM
- Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM
- Instituto de Investigaciones en Fisiología Celular, UNAM
- Instituto de Ingeniería Ambiental, UNAM
- Instituto de Biología, UNAM
- Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
- Instituto de Biotecnología, UNAM
- Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Zaragoza, UNAM
- Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Iztacala, UNAM
- Universidad de Guadalajara

- Universidad de Guanajuato
- Universidad Veracruzana
- Universidad de Sonora
- Centro de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad de Sonora
- Universidad Autónoma de Yucatán
- Universidad Autónoma del Estado de México
- Universidad Autónoma de Nuevo León
- Centro de Investigaciones Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León
- Universidad Autónoma Chapingo
- Universidad Autónoma del Estado de Morelos
- Universidad Autónoma de Baja California
- Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
- Universidad Autónoma de Tamaulipas
- Universidad Juárez del Estado de Durango
- Instituto Tecnológico de Veracruz
- Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, IPN, Unidad D.F.
- Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, IPN, Unidad Irapuato
- Centro de Investigación Científica de Yucatán
- Instituto de Ecología, A.C.
- Instituto Nacional de Nutrición

- Universidad Autónoma de Chihuahua
- Universidad Autónoma de Nayarit
- Universidad Autónoma de Zacatecas
- Universidad Autónoma de Puebla
- Universidad Iberoamericana
- Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas
- Universidad Autónoma de Coahuila (Casas, 1993; Solleiro y Quintero, 1993).

La inversión en este rubro es pequeño, siendo erogaciones económicas del erario público, canalizado a universidades e institutos del sector oficial, vía financiamiento de proyectos científicos y el presupuesto para su funcionamiento. Torres (1989) presenta las diferencias observadas en las inversiones de algunas empresas transnacionales y uno de los laboratorios mejor equipados y más grande de México: el (CINVESTAV-Irapuato. Por ejemplo, las transnacionales invierten en laboratorios un total de 150 millones de dólares y en ID una cantidad similar; en cambio, al CINVESTAV se le destinó un gasto para 1987 que fluctuó entre 5 y 7 millones de dólares. Así mismo, considera que "...una sola empresa trasnacional está en condiciones de gastar cantidades 100 veces más altas que el total de la inversión realizada en investigación biotecnológica por México."

Otro ejemplo del atraso en las investigaciones, explicado por el exiguo presupuesto que imposibilita equipar un laboratorio con los más sofisticados y modernos adelantos

tecnológicos para la investigación científica, es consignado por Aboites (1992) que menciona que el CINVESTAV-Irapuato requirió de tres meses para caracterizar una proteína, en cambio el Instituto de Ingeniería de Proteínas de Osaka, Japón, utilizando el microscopio de barrido de túnel y la mejor computadora del país sólo requirió unas horas.

Si bien es cierto que los recursos económicos que fluyen a los centros de investigación provienen, en su mayoría del gobierno, es necesario consignar que también cuenta con fuentes internacionales, tales como la National Academy of Sciences, National Science Foundation, OEA, Unión Europea, ONUDI y la Fundación Rockefeller. Sin embargo estos recursos se concentran en unos cuantos centros de investigación, generalmente los más grandes (CINVESTAV-Irapuato; Dpto. de Bioquímica de la Facultad de Química-UNAM; IBT; CICY y el Laboratorio de Biotecnología del Centro de Genética del CP), que llegan a cubrir hasta un 50% de sus presupuestos totales con los aportes obtenidos de fuentes internacionales (Torres, 1989).

Es un hecho que los recursos propios de las instituciones de investigación apenas logran cubrir los salarios de los investigadores e incluso no alcanza para contratar ayudantes de investigación. Esto realza la importancia que tiene las fuentes externas de financiamiento, ya que son en realidad las que posibilitan que se abran nuevos proyectos de investigación y la adquisición de equipo y materiales para laboratorio.

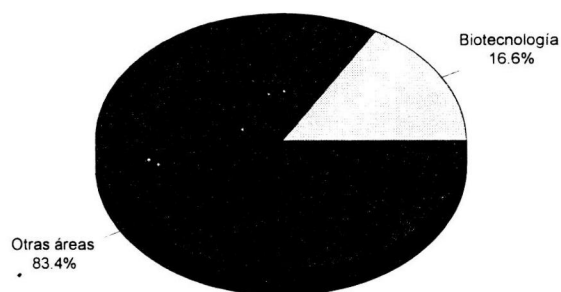
Las fuentes externas incluyen organismos nacionales e internacionales. De los primeros, los más importantes son el CONACYT, organismo rector de las políticas en ID en el país y el COSNET, que depende de SEP.

El CONACYT es una institución que puede financiar a cualquier centro de investigación; en cambio, el COSNET sólo financia a los centros e instituciones educativas que pertenecen al Sistema Nacional de Educación Tecnológica. También existen otras fuentes privadas como el Fondo Ricardo J. Zevada (Casas, 1993).

Los aportes económicos del CONACYT destinados a apoyar la investigación biotecnológica incluye financiamiento para el fortalecimiento de la infraestructura y proyectos de investigación. Casas (1993) cita estadísticas para 1991 y 1992, correspondiendo para fortalecimiento de la infraestructura un 17% y 6% del total, respectivamente. En cambio los apoyos otorgados a proyectos fueron de 17.2% en 1991 y 12.2% en 1992 (véase gráficas 1, 2, 3 y 4).

GRAFICA 1

FORTALECIMIENTO A LA INFRAESTRUCTURA EN
BIOTECNOLOGÍA POR CONACYT, 1991

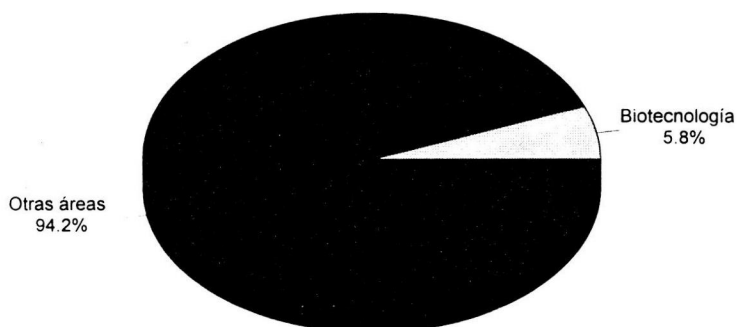


PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	%
Biotecnología	UNAM-IBT, CINVESTAV-IPN, UNAM-FAC: QUIMICA	13,894	16.6
Otras áreas	35	67,879	83.4
Total	38	81,773	100

Fuente: Casas, 1993, p. 224.

GRAFICA 2

FORTALECIMIENTO A LA INFRAESTRUCTURA EN
BIOTECNOLOGÍA POR CONACYT, 1992

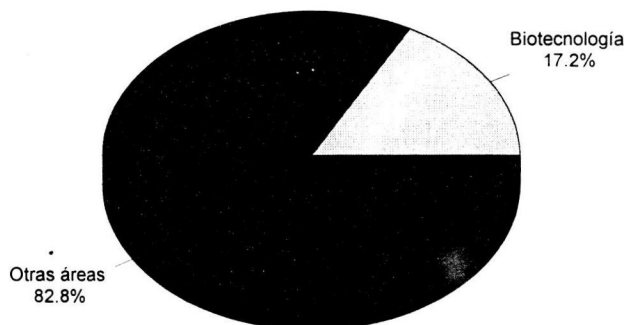


PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	%
Biotecnología	8	6,638	5.8
Otras áreas	76	107,424	94.2
Total	84	114,062	100

Fuente: Casas, 1993, p. 224.

GRAFICA 3

PROYECTOS DE INVESTIGACION EN BIOTECNOLOGÍA
FINANCIADOS POR CONACYT, 1991

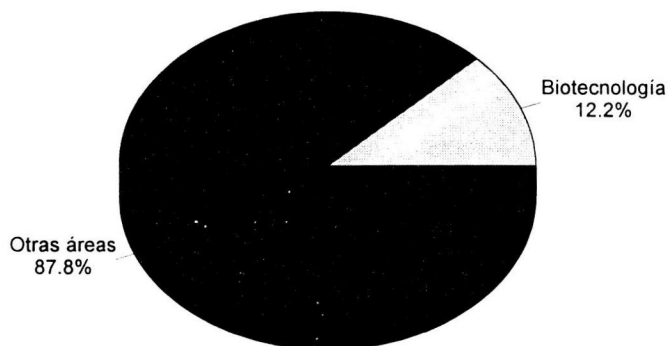


PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	%
Biología	46	4,382,364	17.2
Otras áreas	276	21,101,337	82.8
Total	322	25,483,701	100

Fuente: Casas, 1993, p. 223

GRAFICA 4

PROYECTOS DE INVESTIGACION EN BIOTECNOLOGÍA
FINANCIADOS POR CONACYT, 1992



PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	%
Biología	46	7,711,922	12.2
Otras áreas	502	55,458,275	87.8
Total	548	63,170,197	100.0

Fuente: Casas, 1993, p. 223.

Asimismo se informa sobre las instituciones que recibieron financiamiento de proyectos de investigación en biotecnología en el periodo 1991-1992, encontrándose que del total de proyectos que recibieron apoyos del CONACYT, 23 correspondieron al CINVESTAV, unidad Irapuato y D.F y 22 fueron canalizados para la UNAM. El resto se distribuyó entre 24 instituciones de un total de 92 solicitudes aprobadas. Es decir 47 solicitudes, que corresponden al 51.09%, fueron repartidas entre las 24 instituciones restantes. Por su parte el 48.91% fue acaparado por solo dos instituciones (IPN y UNAM), prácticamente el 50%. Lo anterior queda plasmado en el cuadro 3.1.

CUADRO 3.1: INSTITUCIONES CON PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA FINANCIADOS POR CONACYT 1991-1992.

Institución	Solicitudes aprobadas	Monto (Miles de pesos)
CINVESTAV-IPN-IRAPUATO	12	1,169,500
CINVESTAV-IPN	11	1,494,842
CINVESTAV-IPN-MÉRIDA	1	91,745
UNAM-INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA	12	2,052,878
CICY	5	977,636
INST. DE SALUD PÚBLICA	5	817,434
COLEGIO DE POSGRADUADOS	5	496,000
UNAM-INST. INV. BIOMÉDICAS	4	327,680
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA	4	278,345
UNAM-CIFN	3	1,145,800
UNAM-INST. DE FISIOLÓGÍA	3	792,560
CELULAR	3	244,600
INST. NAL. DE LA NUTRICIÓN	2	267,926
UNIV. AUT. DE COAHUILA	2	256,000
UNIV. MICH. SN. NICOLÁS HIDALGO	2	244,588
UNIV. DE GUANAJUATO	2	208,973
UNIV. AUT. DE NUEVO LEÓN	2	106,202
UNIV AUT. DE BAJA CALIFORNIA	2	77,250
UNIV. AUT. DE YUCATÁN	1	125,000
UNIV. AUT. DE CHIHUAHUA	1	121,667

CUADRO 3.1: INSTITUCIONES CON PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA FINANCIADOS POR CONACYT 1991-1992.

Institución	Solicitudes aprobadas	Monto (Miles de pesos)
UNIV. AUT. DE NAYARIT	1	120,560
UNIV. AUT. DE ZACATECAS	1	118,500
IPN-UIBI	1	112,488
UNAM-FAC. QUÍMICA	1	108,370
INST. DE ECOLOGÍA, A.C.	1	89,000
UNIV. AUT. DE PUEBLA	1	60,038
CENTRO DE INV. BIOLÓGICAS	1	60,000
UNIV. AUT. DE TAMAULIPAS	1	55,767
UNIV. IBEROAMERICANA	1	39,000
UNIV. JUÁREZ EDO. DE DURANGO	1	35,937
TOTAL	92	12,094,286

Fuente: Casas, 1993, p. 225.

El CINVESTAV-Irapuato recibe la mayor parte del financiamiento otorgado por CONACYT, por ejemplo "...entre 1985 y 1986, ...[este centro]...recibió el 60% de los fondos totales de CONACYT para la investigación en este campo" (Ibídem, p. 97). También es vanguardia en cuanto a la diversificación de sus fuentes de financiamiento. En los años de 1986 a 1987 sus recursos fueron alimentados por aportaciones de la Fundación Ricardo Zevada, COSNET, el Programa México, la Academia Nacional de Ciencias, la OEA, la UNESCO y la Fundación Rockefeller. Asimismo ha obtenido fondos a través de acuerdos de colaboración con empresas públicas y privadas (Ibídem).

México cuenta con un grupo de aproximadamente 200 investigadores biotecnólogos, que realizan investigaciones en las áreas que comprende la nueva biotecnología, sobre todo en ADN recombinante, cultivos celulares y de tejidos vegetales, fusión de protoplastos,

entre otros. En cambio, en una sola Universidad de los Estados Unidos, la Wisconsin-Madison, que tiene un Centro de Biotecnología, tiene una plantilla de profesores involucrados en la investigación biotecnológica de 240 personas. Así mismo la empresa norteamericana Biotechnica International, ubicada en Cambridge, Massachusetts, en cuyo personal laboran un total de 80 académicos y técnicos (Jaffé, 1991). Lo anterior evidencia la escasez de los recursos humanos del país.

Asimismo, existe interés del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por trabajar con biotecnología. Por ello ha puesto en marcha el Proyecto 543, que considera la introducción de la biotecnología para apoyar el mejoramiento genético tradicional de los cultivos, donde se incluyen 15 proyectos, considerando a diferentes cultivos. El presupuesto destinado a tan importante proyecto fue de \$60,000 en 1992.

Cabe mencionar que el personal científico que trabaja con biotecnología al interior del INIFAP apenas llegan a 14, siendo que es el instituto más grande dedicado a la investigación agropecuaria.

Tanto Torres (1989) y Arroyo (1989) reportan que para 1987 existían en el país 100 investigadores trabajando en biotecnología vegetal, de los cuales 49 tenían grado de doctor, 22 de maestro en ciencias y 27 licenciados. A su vez Paredes (1990) considera que en México existen entre 25 a 30 biotecnólogos con excelente preparación científico-

técnica. Sin embargo menciona que la característica general de la biotecnología en general es de debilidad y dispersión.

- Cárdenas (1991), basado en un estudio de Viniegra de 1989, reporta un total de 227 investigadores, correspondiendo 95 para el área biotecnológica de agricultura y alimentos, que significa el 43% del total (véase cuadro 3.2).

CUADRO 3.2: DISTRIBUCIÓN DE INVESTIGADORES POR ÁREA

Área biotecnológica	No. de investigadores	%
Agricultura y Alimentos	95	42
Contaminación Ambiental	14	6
Desarrollo Tecnológico	30	13
Energía y Productos Químicos	21	9
Salud Pública	49	22
Maricultura	4	2
Piscicultura	4	2
Veterinaria	5	2
Apicultura	3	1
TOTAL	227	100

Fuente: Cárdenas, 1991, p. 283.

En cuanto a la distribución de los investigadores en los diversos centros de investigación, se observa una concentración, tanto en cantidad como en calidad, en las 5 más grandes instituciones de investigación en agrobiotecnología, que acaparan más del 50% de los científicos (Torres, 1989).

Existe poco interés por las empresas en tomar los desarrollos biotecnológicos generados por las universidades y/o centros de investigación, ya sea por desconocimiento de su existencia o por no considerar de importancia acceder a esta nueva área de producción y desarrollo tecnológico. Lo anterior ocasiona que sean contadas las empresas que tengan firmados convenios con centros científicos. Los pocos que existen son signados en su mayoría con empresas transnacionales.

Esto no es más que el reflejo de la desvinculación existente entre universidades e industria. Un ejemplo fue lo que sucedió con el desarrollo del proceso de obtención de goma xantana en el IBT-UNAM que se encuentra archivado, ya que no hay una empresa que se interese en su explotación comercial. Si bien es cierto en determinado momento existió la posibilidad de la transferir el proceso que se vio truncado por trabas burocráticas de la UNAM. Esta información fue dada a conocer por Galindo Fentanes, investigador del IBT en una conferencia dictada en el marco del XIV Seminario de Economía Agrícola del Tercer Mundo, celebrado del 24 al 28 de octubre de 1994 en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM.

Otro caso parecido es el del frijol transgénico desarrollado por CINVESTAV-Irapuato, resistente a *Pseudomonas* que sólo necesita que una industria tome el desarrollo tecnológico y empiece a producir semilla para siembra del frijol con tal característica (Quintero, 1993).

Las barreras que impiden el desarrollo de la biotecnología en México son las siguientes:

- "Inestabilidad política y económica del país.
- Políticas gubernamentales de obstrucción de la participación del sector privado en actividades productivas.
- Ausencia de esfuerzos coordinados hacia el desarrollo de la biotecnología.
- Mercados pequeños.
- Legislación inadecuada sobre la propiedad intelectual." (Cárdenas, 1991, p. 283).

Por otra parte, también se han detectado algunos factores que inciden en el desarrollo de la biotecnología en México. En el cuadro 3.3 se indican los factores del sector industrial y del sector académico, que al conjugarse da como resultado que las dos partes sean incapaces de cooperar y potencien el desarrollo de la agrobiotecnología.

CUADRO 3.3: FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

INDUSTRIAL	ACADÉMICO
• Desconocimiento de la biotecnología. • Desconfianza en la capacidad y talento de los investigadores mexicanos. • Menos peso al papel de la investigación y desarrollo efectuados en su propia empresa. • Concepto erróneo de la finalidad de un negocio.	• Desconocimiento de la realidad del país. • Condiciones inadecuadas para la docencia y la investigación. • Ausencia del concepto Marketing para promover sus ideas.
RESULTADO: INCAPACIDAD DE AMBAS PARTES PARA COOPERAR	

Fuente: Cárdenas, 1991, p. 282.

A pesar de esta problemática, México cuenta con capacidad científica-técnica e infraestructura que le confiere ciertas posibilidades en el manejo, desarrollo y dominio de la biotecnología, que puede contribuir a la solución de los ingentes problemas que atraviesa el país, sobre todo aquellos por los que atraviesa el sector agropecuario.

La referencia básica para caracterizar la situación que prevalece en el desarrollo biotecnológico de México, es el excelente estudio realizado por la Dra. Rosalba Casas en 1987, donde realiza un estudio pormenorizado de la investigación biotecnológica que se realiza en el país por las diversas instituciones educativas y centros de investigación, sus capacidades técnicas, los recursos humanos dedicados a tal actividad, la bioindustria y sus nexos con las universidades y centros científicos.

El inicio de la biotecnología vegetal se remonta al año de 1969 con la firma de un acuerdo de colaboración científica con el Japón, por un período de cinco años, que trajo como resultados la instalación del primer laboratorio de cultivo de tejidos vegetales en el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo. Posteriormente fue creado un segundo laboratorio por la empresa japonesa Matsumoto en 1972.

Este laboratorio fue formador de la primera generación de biotecnólogos nacionales que han pasado a otras instituciones y conformado sólidos equipos de investigación. Es decir el Colegio de Posgraduados fue el iniciador y semillero de la investigación biotecnológica de los científicos mexicanos.

Asimismo, a través de este Centro se dan los primeros acercamientos con la International Association of Plant Tissue Culture (IAPTC) (Asociación Internacional de Cultivos de Tejidos Vegetales), que se verifica en el año de 1975. Cinco años después se forma la Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos Vegetales, como filial de la IAPTC.

La investigación realizada por Casas incluye a 38 unidades de investigación, de las cuales 6 pertenecen a Universidades Autónomas; 7 a Universidades Autónomas que sólo trabajan en el área agrícola; 13 dependientes de los Centros y Universidades Federales y Estatales y 3 unidades que pertenecen a organizaciones descentralizadas. También existen 2 unidades que dependen del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y 7 unidades situadas en el sector productivo, 4 de las cuales son públicas y 3 privadas.

Los proyectos de investigación están comprendidos dentro de las siguientes áreas: micropropagación, mejoramiento genético, cultivo industrial de tejidos, fijación biológica de nitrógeno y estudios básicos (fisiología, bioquímica, microbiología de suelos, genética, biología celular y molecular, entre otras).

De los resultados obtenidos por Casas (1993), se observa que para 1987 la investigación se concentraba en micropropagación, situación también reportada por Quintero (1993), ya que de las 38 unidades estudiadas se concluye que 30 realizan trabajos científicos en

esta área. De ellas, 21 se dedican exclusivamente a micropropagación. Las 7 empresas reconocidas como biotecnológicas también utilizan esta técnica. Esta es una de las áreas, no sólo en México sino a nivel mundial, cuyas aplicaciones más se comercializan e incluso sus procesos son ya rutinarios.

Dentro de los trabajos de micropropagación las especies más investigadas por unidad de investigación son ornamentales y frutas. De hecho, hay 15 unidades que trabajan con las primeras, destacando orquídeas, gladiolas, crisantemos, claveles y cactus. Por su parte los frutales son estudiados por 13 unidades, cuya atención se centra en productos de exportación, tales como fresa, piña, cítricos y otros.

La micropropagación que se realiza en México es una investigación aplicada ya que sólo busca obtener las condiciones óptimas de cada especie para su regeneración. En su mayoría es repetitivo porque se trabaja con plantas cuya reproducción in vitro ya esta registrada en la literatura especializada.

Para el mejoramiento genético son varias las técnicas que se reportan, contándose con variación somaclonal, la selección in vitro de células, el cultivo in vitro de anteras, el rescate de embriones, la fusión de protoplastos y las técnicas del ADN recombinante (ADNr).

Las investigaciones en esta área utilizan, en su mayoría, variación somaclonal y selección in vitro, asimismo, algunos utilizan el rescate de embriones, cultivo de anteras y fusión de protoplastos y sólo una unidad trabaja con ingeniería genética vegetal. Cabe aclarar que estos proyectos están en su fase inicial.

Solo 4 instituciones tienen programas a largo plazo en mejoramiento genético: CINVESTAV-Irapuato, CAEZ-INIFAP, CIMMYT y UAAAN. Pero existen diferentes enfoques: técnicas tradicionales (CAEZ-INIFAP y CIMMYT) y biología molecular (CINVESTAV-Irapuato).

Respecto al tipo de plantas estudiadas existen 6 centros de investigación que realizan estudios en granos básicos (maíz, trigo, frijol y arroz); 2 en árboles frutales, destacando papaya y aguacate; 2 en tomate y 1 en papa, tabaco, amaranto, plantas silvestres, agave tequilana, *Canavalia ensiforme* y caña de azúcar.

En síntesis, el mejoramiento genético se realiza por 10 unidades que dedican esfuerzos y recursos económicos y humanos en su investigación, correspondiendo al 26% del total. Tales centros son los más grandes y de reconocido prestigio como el CINVESTAV, CICY, CP y CIMMYT, entre otros.

El mejoramiento genético a través de ingeniería genética requiere de que existan las metodologías en biología molecular o áreas afines que posibiliten acceder a resultados

concretos. En el país existen instituciones que poseen la capacidad científica y la infraestructura para la transferencia de material, aislamiento y caracterización de ácidos nucleicos, uso de vehículos para clonación de fragmentos de ácidos nucleicos, mutagénesis, cultivos vírales, entre otros. El cuadro 3.4 provee la información sobre las metodologías disponibles en el país, así como las instituciones que cuentan con ellas.

En cambio, Casas reporta un incipiente desarrollo en cultivo industrial de tejidos industriales en México, existiendo solo 4 unidades de investigación con proyectos científicos en este rubro. De los cuales 3 son con el fin de producir sustancias para usos médicos, con alto valor en el mercado.

De suma importancia es la investigación básica debido a que aporta los conocimientos que posibilitan el entendimiento de las últimas causas de los fenómenos. Este tipo de estudios en México están en sus etapas iniciales y lo abordan 8 unidades de investigación.

La fijación biológica de nitrógeno es una área de investigación de suma importancia para el país ya que implica eliminar o, en el peor de los casos, disminuir el uso de fertilizantes químicos, disminuyendo los costos de producción y la contaminación de los mantos freáticos.

Diversas instituciones están interesadas en el estudio de este proceso, siendo un total de 28 unidades de investigación las que dedican recursos a esta temática, tendientes a conocer la manera en que se presenta el fenómeno y encontrar cepas nativas más eficientes y con el uso de la biología molecular, determinar las características genéticas de los microorganismos que pueden fijar el nitrógeno, para en el futuro transferir los genes fijadores del elemento a las plantas, sobre todo en los cereales. Los microorganismos estudiados son: *Rhizobium*, *Azospirillum* y algas.

CUADRO 3.4: RECURSOS METODOLÓGICOS DISPONIBLES EN BIOLOGÍA MOLECULAR Y ÁREAS AFINES

Recurso	Instituciones				
	607	240	875	200	210
Cultivos virales	X	X	X	X	X
Transferencia de material genético	X	X	X	X	X
Aislamiento y caracterización de ácidos nucleicos	X	X	X	X	X
Uso de vehículos para clonación de fragmentos de ácidos nucleicos	X	X	X	X	X
Obtención de fragmentos de ácidos nucleicos	X	X	X	X	X
Unión de fragmentos de ácidos nucleicos	X	X	X		
Selección y análisis de donos de fragmentos específicos de ácidos nucleicos	X	X	X	X	X
Expresión de fragmentos de ADN de procariotes y eucariotes	X	X	X	X	X
Modificación de ácidos nucleicos utilizando enzimas específicas	X	X	X	X	X
Mutagénesis	X	X	X	X	X
Análisis de interacción entre ácidos nucleicos y proteínas	X	X	X	X	
Construcción de genotecas	X	X	X	X	
Análisis de proteínas	X	X	X	X	X
lípidos		X		X	
y carbohidratos	X			X	

NOTAS: 607= Instituto de Investigaciones Biomédicas (UNAM)

920=Centro de Investigación Sobre Ingeniería Genética y Biotecnología

240=Centro de Investigación y Estudios Avanzados (IPN) (incluye Unidades de Cd. de México e Irapuato)

110=Centro de Investigación Científica de Yucatán

420=Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

500=Instituto Mexicano del Petróleo

800=Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial

255=Facultad de Química (UNAM)

737=Instituto Tecnológico de Veracruz (incluye Unidades Orizaba y Veracruz, Ver.)

614=Instituto Tecnológico de Celaya

FUENTE: Solleiro y Quintero, 1993, pp. 12-13.

Existe la tendencia de crear plantas que fijen su propio nitrógeno. Sin embargo, las únicas plantas que tienen la capacidad de fijar tal elemento son las leguminosas, auxiliadas por bacterias nitrificantes (*Rhizobium*) en un proceso de simbiosis, el cual es posible mejorar, pero no la modificación de los vegetales para que sean ellos los que realicen en forma independiente la fijación de nitrógeno. Los resultados en las investigaciones sobre la transformación de las plantas y dotarlas de la capacidad para tomar el nitrógeno del medio ambiente se obtendrán a largo plazo.

La investigación mexicana en biopesticidas se caracteriza por su dispersión y carencia de dirección adecuada a los requerimientos que exige el sector agrícola. El cuadro 3.5 proporciona la información sobre los principales trabajos que se están realizando en esta área en diversas instituciones. Destacándose el trabajo realizado con *Bacillus thuringiensis* a través de 8 líneas de investigación, ubicadas en 7 centros educativos.

CUADRO 3.5: INVESTIGACIÓN MEXICANA EN BIOPESTICIDAS

Institución	Líder del Grupo	Línea de Investigación¹
UNAM: Instituto de Biotecnología	Alendra Bravo Rodolfo Quintero	• Bt: Modo de acción de 6 toxinas aisladas y seleccionadas de endotoxinas. • Producción de bioinsecticidas para plagas específicas.
Universidad Autónoma de Nuevo León	Luis Galán Benito Pereira	• Biología molecular de Bt. • Tecnología de fermentación y escalamiento para la producción de bioinsecticidas. • Banco de razas (4000).
Universidad Autónoma de Nuevo León	Cristina Rodríguez Reyes Tamez	• Aislamiento y clasificación de Bt en México.

CUADRO 3.5: Continuación

Institución	Líder del Grupo	Línea de Investigación¹
CIVESTAV-D.F	Mayra de la Torre Bernardo Flores Raúl Urquijo	• Procesos de fermentación y producción piloto (planta piloto) de bioinsecticidas. • Estudios de factibilidad. • Procesos de fermentación a una escala de semipiloto y pruebas de campo.
Universidad Autónoma del Edo. de Morelos	Eduardo Aranda Guadalupe Peña Armando Burgos	• Aislamiento de nuevas razas de Bt.
CIMMYT	Natasha Boborova David Huisington	• Evaluación por medio de pruebas de campo y bioensayo de formulaciones comerciales de Bt.
CINVESTAV-Irapuato	Jorge Ibarra	• Aislamiento de razas nativas de Bt para ser usadas contra plagas específicas. • Colección de razas.
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Norma Saavedra Ovidio Díaz Luis Antonio Castanón	• Evaluación por medio de pruebas de campo y bioensayos de formulaciones comerciales de Bt.
Alimentos del Fuerte, S. A.	Cosme Cruz Gregorio Aceces	• Pruebas experimentales y semicomerciales con formulaciones comerciales.
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Carlos Villar Andrés Delgadillo Gerardo Hernández	• Control de los gusanos del maíz, <i>Spodoptera fragiperda</i> con soluciones.
Universidad de Sonora	José Javera Héctor Jasso	• Uso de insectos para el control de áfidos, pulgones.
Colegio de Posgraduados	Raquel Alatorre Jorge Valdéz	• Bioensayos para el uso de hongos contra ácaros
Universidad Autónoma de Guerrero	José Luis Rosas Yolanda Rosas Andel Sánchez	• Uso de hongos contra mosquita blanca.
INIFAP	María Jarillo Ramón Rodríguez	• Uso de avispa contra huevecillos de la chinche café del sorgo. • Combate del gusano rosado con <i>Trichograma</i>.
Zeneca Mexicana, S.A.	Baldomero Huerta Luis Herrera Estrella	• Uso de extractos de plantas para el control del virus en tomate, CINVESTAV-Irapuato, Alfredo Herrera. • Aislamiento de hongos como bioinsecticidas. • Obtención de plantas transgénicas: -papa resistente a virus. -tabaco resistente a Lepidopteros y virus. -espárrago resistente a virus. -chile resistente a virus. -tomate resistente a virus. --maíz resistente a Lepidopteros.

1. Bt= *Bacillus thuringiensis*.

FUENTE: OCDE, 1995, pp. 38-39.

Ahora bien ¿cual es la viabilidad científica, técnica y factibilidad económica de cada uno de los campos de investigación en biotecnología vegetal?

Casas (1993) reporta que las investigaciones en granos básicos es escasa debido a problemas técnicos, sobre todo en maíz, frijol y trigo, que se convierte en una limitante. Por ello las unidades que se dedican al estudio de estas plantas son muy pocas. En cambio especies ornamentales, frutales y hortícolas acaparan la atención de los biotecnólogos, para las cuales se han desarrollado y perfeccionado técnicas que han resultado muy eficientes.

La viabilidad económica de la biotecnología únicamente se ha alcanzado en cultivo de tejidos vegetales para la micropropagación, profusamente aplicado en ornamentales y frutales, cultivos altamente comerciales. Precisamente por esto en el país existen varias empresas, generalmente pequeñas, que se dedican a la producción de material vegetativo para exportación y para el mercado nacional. Ejemplos de lo anterior se reportan en el cuadro 3.6.

“La factibilidad de las técnicas de micropropagación aumenta rápidamente. En 1968 se informó que existía viabilidad técnica en 30 diferentes especies. En 1978 este número había aumentado a 300 y en 1988, probablemente sea ya posible comprobar la viabilidad de 3,000 diferentes especies. Sin embargo, la micropropagación no parece factible en

CUADRO 3.6: PRINCIPALES EMPRESAS MEXICANAS CON LABORATORIOS DE CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES (1992)

Empresas	Localización	Especies	Prod. total anual de plantas microprop.	Inv. en lab. de cult. de tejidos (US\$)	Num. de empleados en lab.	Mercado		Invest. propia	Enlace con centros de invest. públicos	Planes futuros
						% Nal.	% Inter.			
Biogenética mexicana, S.A. de C.V. (privada)	Ofic. en Cd. de México y Lab en Michoacán	Gerbera, Gypsophyla, dieffenbachia, caladium, agave, spatiphyllum, singonium, anturio	3,000,000	400,000	25	50	50	Adaptación de tecnología	CICY UNAM	
Rancho La Joya (privado)	Oficinas en Atlixco, Pue.	Orquideas	100,000	100,000	3	20	80	No	No	Micropropagar otras especies tales como rosas para exportar
Gota De Vita (privado)	Huitzilac, Mor.	Papa				uso interno			No	
Invernamex (privado)	Of. y lab. en Tepotzotlán, Edo. de Mex.	Gerbera, gypsophylla, fresa, frambuesa, papa, plátano, piña	3,000,000	500,000	25	100		Adaptación de tecnolog.	UACH	Ingresar al mercado de exportación
Rancho Providencia (privado)	Toluca, Edo. de México	papa		150,000	7	uso interno		No	UACH	
Viveros El Morro (privado)	Cd. de México	Spatophyllum, singonium	300,000							
Vivi Toluca (privado)	Valle de Toluca	Papa				uso interno			INIFAP	
FIRA (público, Banco de México)	Tezoyuca, Mor.	Violeta africana, gerbera, crisantemo, fresa	100,000	45,000	7	100		Si	UAC	Transferir metodologías de micropropagación a pequeños productores.

FUENTE: Eastmond et al., 1992, p 110.

plantas leguminosas y cereales, puesto que esta técnica no resulta una alternativa para aquellas especies que se propagan solamente a través de semillas: para tales especies, debe utilizarse otros métodos como el mejoramiento genético”(Casas, 1993, p. 93).

Como se mencionó con anterioridad, las mayores aplicaciones productivas se han logrado en micropropagación. Estos se pueden clasificar en tres grupos: el primero incluye unidades de micropropagación que realizan investigación o desarrollan procesos para una empresa pública o privada. El segundo, se refiere aquellos centros que hacen investigación y, además participan en la instalación de una área de micropropagación en gran escala en la empresa. Y en tercero se tiene a los laboratorios comerciales, ya sean públicos o privados.

Dichos laboratorios comerciales fueron instalados por 4 compañías: la Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT); Productora y Manufacturera Forestal Mexicana (PROTINBOS); Biogenética Mexicana (BIOGEMEX); y Mexicana de Micropropagación (MIPROMEX); las cuales trabajan con plantas ornamentales y flores.

Los recursos Humanos ocupados en actividades biotecnológicas en México para 1987 fueron de 160 investigadores, ubicados en 38 centros de investigación, lo cual indica una gran dispersión del personal. Entre las unidades de investigación se observan disparidades ya que algunos apenas cuentan con un sólo investigador y otros cuentan con una plantilla muy numerosa. Por ejemplo el CINVESTAV-Irapuato; la Facultad de

Química-UNAM; el Centro de Genética del CP y el CICY, concentran más del 50% de los investigadores.

- La formación de los investigadores es de buen nivel, ya que un 32% son doctores. Además, de las 38 unidades estudiadas por Casas, 16 unidades tienen al menos 1 doctor, que equivale al 42% de las unidades. Pero el instituto que mayor número de investigadores cuenta es el CINVESTAV-Irapuato, también en cuanto a doctores. Por ejemplo en el área de ingeniería genética laboran 11 investigadores

El hecho que el CINVESTAV-Irapuato tenga supremacía en cuanto al nivel académico de sus investigadores se debe a que este centro tiene como política central el impulsar a sus científicos a realizar estudios de posgrado sobre todo a nivel doctorado y postdoctorado, consiguiendo becas para este fin.

La vinculación con el sector productivo es vital para que los procesos generados por la biotecnología vegetal tengan un impacto económico, debido a que de nada sirve que se tengan los desarrollos biotecnológicos archivados. Dicho vínculo se puede dar desde una colaboración, de tal forma que los procesos desarrollados por los centros de investigación sean aplicados en procesos productivos.

De los vínculos que se han conformado con las industrias, sólo 2 proyectos abordan la temática del mejoramiento genético. Uno de ellos es el CINVESTAV-Irapuato con TABAMEX, con el fin de crear una variedad de tabaco que sea resistente a virus.

- Para 1987 existían 7 relaciones o convenios entre centros de investigación y el sector productivo, los cuales 5 eran de micropropagación. Otros acuerdos identificados son: el suscrito entre el Colegio de Postgraduados y la empresa Sabritas, con la finalidad de desarrollar variedades específicas de papa para frituras; el firmado por CICY y una gran compañía para desarrollar variedades de flores para la extracción de material colorante y el signado por CINVESTAV-Irapuato y la Asociación de Productores Agrícolas del Bajío (OCDE, 1995).

Con esto queda evidente la escasa relación Universidad-industria, lo que genera que los procesos desarrollados por los primeros no tengan el impacto esperado en el desarrollo económico de México. Además que no existe un flujo de recursos económicos de la industria a los centros de investigación que refuercen y den fortaleza al sistema científico del país y crear las bases científicas y tecnocientíficas para el despegue económico y social del país.

Los ensayos en campo de plantas modificadas genéticamente en México son recientes. A raíz de la formación del Comité de Bioseguridad Agrícola, conformado por técnicos calificados representantes del INIFAP, la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), el CP, el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS)

y CINVESTAV, cuya finalidad es estudiar y atender las solicitudes para realizar pruebas de campo. De 1991 a 1992 se recibieron 6 solicitudes (véase cuadro 3.7). Un informe más reciente reporta que para 1993 se habían llevado a cabo en el país 13 ensayos de campo con plantas transgénicas (DGSV, SAGAR, 1995).

CUADRO 3.7: PRUEBAS DE CAMPO CON ORGANISMOS TRANSGÉNICOS REALIZADAS EN MÉXICO (1991-1992)

No	Compañía	Fecha de solicitud	Fecha de autorización		Especie autorizada	Tipo de modificación genética
1	Campbell/Sinaloapasta		18-02-91	18-02-91	Jitomate	Inserción del gene Bt
2	Campbell/Sinaloapasta	9-09-91	18-10-91	10-02-92	Jitomate	Reducción de la enzima poligalacturonasa
3	Campbell/Sinaloapasta	9-09-91	18-10-91	10-02-92	Jitomate	Inserción del gene Bt
4	CINVESTAV	16-10-91	18-10-91	En lab.	Trigo	Genes marcadores o reporteros
5	CINVESTAV	14-07-92	03-09-92	03-09-92	Papa	Resistente a los virus VXP (PVX) y VYP (PVY) agente vector <i>Agrobacterium tumefaciens</i>
6	Calgene	10-07-92	22-09-92	Pendiente	Jitomate	Reducción de enzima poligalacturonasa

FUENTE: Carreón, 1994, p. 67

El primer antecedente que se tiene conocimiento de pruebas de campo en México se remonta a 1988, con la primera solicitud de importación de semilla de jitomate manipulada por medio de ingeniería genética, para realizar experimentos en invernadero, laboratorio y campo, en Guasave, Sinaloa (Carreón, 1994).

Es importante mencionar que las centrales campesinas, los sindicatos y las asociaciones de productores tomen en serio su participación en el desarrollo de la tecnología, vía pago

de proyectos biotecnológicos (Blanco, 1994). Si bien es cierto que estos proyectos implican fuertes erogaciones de recursos económicos, también es cierto que las pérdidas que se tienen por algún factor adverso son cuantiosas y no caer en el error que se cometio por la Asociación de Productores de Papa del Bajío, con el proyecto para generar una variedad de papa resistente a la palomilla, presupuestado por el CINVESTAV-Irapuato en 600 millones de pesos (Ibidem), que les pareció excesivo, pero, ¿cuanto pierden por el ataque de la plaga y cuales son los gastos que genera su combate? En base a las respuestas proporcionadas a estas preguntas se realizaría un análisis beneficio-costos y determinar que es lo más viable.

La importancia de que este tipo de organizaciones participen en la investigación es evidente. Por una parte tendrían el control del proceso biotecnológico a través del derecho de patentes y; por otra parte, de acuerdo a sus prioridades estarían definiendo el rumbo de la biotecnología vegetal. Blanco (1994) menciona que muchas organizaciones poseen la capacidad financiera para apoyar económicamente a varios proyectos, tal es el caso de la CNC.

Poco a poco el gobierno federal ha venido preocupándose por la biotecnología, de tal forma que ha establecido como una de sus prioridades, el impulsar los aspectos de la cooperación técnica internacional y nacional. Así mismo se prepara un programa nacional de biotecnología (Quintero, 1992).

CUADRO 3.8: ALGUNAS VENTAJAS QUE PUEDE OFRECER LA BIOTECNOLOGÍA AL SECTOR DE ACTIVIDADES PRIMARIAS

PRODUCTO	VENTAJAS
Semillas mejoradas resistentes a la aridez	Ampliación de frontera agrícola. Reducción de pérdidas poscosecha.
Semillas resistentes a heladas, sequías, plaguicidas y herbicidas	Reducción de pérdidas poscosecha. Aumento de la producción agrícola por hectárea cultivada.
Semillas con mayor rendimiento	Aumento de la producción agrícola por hectárea cultivada.
Inoculantes y biofertilizantes	Reducción de la erosión del suelo. Disminución de costos de producción. Disminución de la contaminación del agua y del suelo.
Bioinsecticidas y biopesticidas y control biológico de plagas	Evitan la destrucción de insectos y otras especies animales benéficas. Disminuyen la concentración de compuestos dañinos para la salud humana, animal y vegetal. Reducción de la pérdida de especies vegetales benéficas.
Arboles de rápido crecimiento y resistentes a plagas, enfermedades y a condiciones extremas del medio ambiente	Aumento de la tasa de reforestación. Aumento de la producción forestal no maderable y maderable. Aumento de la superficie boscosa. Aumento de la producción frutícola. Disminución de los costos de producción frutícola y forestal.
Especies vegetales y microorganismos fijadores de nitrógeno	Reducción del uso de fertilizantes. Reducción del costo de producción agrícola. Aumento de la fertilidad del suelo. Disminución de la contaminación.
Pruebas de diagnóstico y sondas moleculares de diagnóstico	Mejoramiento de la detección de enfermedades e infecciones de las semillas y vegetales. Reducción de pérdidas durante el almacenamiento de granos y semillas. Aumento de la producción de granos y semillas. reducción de los costos de producción de semillas y granos.
Especies animales mejoradas resistentes a enfermedades y/o más fértiles (ganaderas, acuícola, avícolas y apícolas)	Aumento de la producción ganadera, avícola, apícola y acuícola. Reducción de costos de producción.
Semillas mejoradas resistentes a la salinidad	Reutilización y ampliación de la superficie irrigada. Aumento de la frontera agrícola.
Estimulantes biológicos (compuestos elaborados con enzimas, coenzimas y fitohormonas)	Aumento de la producción no maderable y maderable
Alimentos balanceados	Disminución de las importaciones de los forrajes y alimentos balanceados. Control de contaminación. Mejora las condiciones de higiene.
Vacunas	Prevención de enfermedades.
Hormonas	Estimulación del estro y el crecimiento.
Especies piscícolas resistentes a enfermedades y diferentes condiciones de salinidad	Aumento y diversificación de la producción acuícola.

Fuente: Elaborada por el Centro de Estudios Prospectivos, A.C. de la Fundación Javier Barros Sierra, A.C. Citada por Solleiro, J L. y Rodolfo Quintero, 1993, pp. 46-47.

Las posibilidades ofrecidas por la agrobiotecnología a la solución de una serie de problemas en México explican la toma de conciencia del estado sobre el papel estratégico que ésta tendrá en el futuro. Algunas de las ventajas que serán puestas al servicio del sector primario del país son ilustrados en el cuadro 3.8, donde se presentan los productos biotecnológicos y sus ventajas.

Sin embargo, se debe mencionar que además de la problemática analizada en párrafos anteriores, existen obstáculos para la difusión de la biotecnología en la agricultura mexicana. Estos están relacionados con el sector agrícola, con la investigación académica, con el sector industrial y con la política biotecnológica.

Para el caso del sector agrícola las principales trabas para el desarrollo agrobiotecnológico son: falta de capital, desigual composición sectorial, actitudes conservadoras, educación agrícola con poco énfasis en la biotecnología, inadecuado servicio de extensión y la crítica situación económica (OCDE, 1995). La información de los otros sectores se citan en el cuadro 3.9

Con esta información queda de manifiesto la situación que prevalece en el sector agrícola y los recursos científicos y materiales que cuenta México para acometer la tarea de generar los conocimientos, procesos y productos que la biotecnología ofrece para la solución de los más acuciantes problemas del agro.

CUADRO 3.9: PRINCIPALES OBSTÁCULOS PARA LA DIFUSIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA MEXICANA

Relacionado con el sector agrícola	Relacionado con la investigación académica	Relacionado con el sector industrial	Relacionado con la política biotecnológica
Falta de capital	Investigación sin significativo enlace con el mercado	Falta de planeación y estrategia tecnológica	Falta de financiamiento e incentivos fiscales para ID a la industria
Desigual composición sectorial	Inadecuada gestión de las relaciones con el sector industrial	Tamaño pequeño y limitada capacidad financiera	Se da preferencia a la investigación básica
Actitudes conservadoras	Falta de recursos humanos	Actitudes conservadoras hacia alianzas y riesgos colectivos	No existen instrumentos promocionales específicos
Poco énfasis de la educación agrícola a la biotecnología	evaluación favorable a los resultados académicos tradicionales	Limitadas capacidades para ID y monitoreo y adopción de innovaciones	Sistema inadecuado de información
Inadecuado servicio de extensión	Alta concentración geográfica de medios de investigación		Carencia de objetivos estratégicos
Crítica situación económica		Baja competitividad en la industria semillera	Indiferencia por la biotecnología

Fuente: OECD, 1995, pp. 56

3.2. IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR PRODUCTIVO: EL CASO DEL MAÍZ Y TRIGO

- El maíz y el trigo son los principales granos que se producen en el orbe, consumidos por una buena parte de la población mundial. De estos cereales se obtienen productos para el consumo humano y son materia prima en muchos procesos industriales, obteniéndose productos tales como almidones y ácidos químicos, además de combustibles.

Para el caso de México, el maíz es el producto nacional por excelencia, cultivándose grandes extensiones de tierra, tanto de temporal como de riego. Este cereal es de gran importancia dentro de la dieta del mexicano. Su cultivo se remonta a la época precolombina.

Respecto al trigo, su consumo también es importante encontrándose importantes extensiones de tierra de cultivo, sobre todo de riego que se destinan a producir esta gramínea. De hecho su consumo es más generalizado en el norte de la república y en las ciudades.

Siendo estos cereales parte esencial de la dieta de la población mexicana, se escogieron para realizar una retrospectiva de las posibilidades que ofrece la biotecnología en la solución de la problemática a que se enfrentan los agricultores y la necesidad del abasto suficiente a la población.

3.2.1 AVANCES EN AGROBIOTECNOLOGÍA PARA MAÍZ Y TRIGO EN LOS PAÍSES DESARROLLADOS

- Los avances biotecnológicos surgidos en los países industrializados, liderados por Estados Unidos, han abierto grandes expectativas sobre las potencialidades que guarda la agricultura y su posicionamiento en el nuevo entorno económico, que se está configurando ante los espectaculares avances científico-técnicos, que están trastocando las ramas de la economía.

La agricultura está llamada a jugar un papel preponderante en el desarrollo biotecnológico, por lo que tiene la encomienda de cumplir con aspectos fundamentales en el crecimiento y desarrollo de las naciones. Su importancia se puede ubicar en varios niveles. Por una parte, la adecuación de productos agrícolas a las necesidades del mercado; así como la creación de nuevos productos y por otra parte, ante la exigencia de la población para disminuir el consumo de químicos en su dieta y en productos para la salud, habrá un incremento en la demanda de productos más naturales, que no sean agresivos al organismo ni al medio ambiente.

Grandes esperanzas se fincan en la biorrevolución para que logre impactar los rendimientos de los cultivos agrícolas, de tal forma que la producción sea suficiente para al menos paliar las hambrunas, aunque lo deseable es que sean erradicadas de la faz de la tierra.

Siendo el maíz y el trigo parte fundamental de la dieta de la mayoría de la población mundial, diversos laboratorios dedicados a la investigación biotecnológica diseminados por el mundo están realizando estudios con estos cereales, en la búsqueda de la mejor forma de incorporar nuevas características por medio de la manipulación genética.

En este apartado se abordan los avances observados en los países industrializados, sobre todo en Estados Unidos, en investigación y desarrollo en biotecnología para el maíz y trigo, así como las tendencias que sigue el desarrollo agrobiotecnológico cerealero.

MAÍZ

En maíz, como en todos los cereales, se han encontrado problemas de tipo técnico para lograr la transformación y regeneración de esta planta por medio del cultivo de células y tejidos, técnica que mayores avances científicos se han logrado. Aquellas plantas que se reproducen por semillas no han podido ser regeneradas satisfactoriamente.

Es necesario un mayor conocimiento de los mecanismos que rigen el comportamiento genético de este tipo de plantas. Para ello se está realizando la identificación y caracterización del genoma del maíz. Asimismo, estudios básicos sobre este vegetal están en proceso. Estas actividades posibilitarán un mayor

entendimiento de las áreas genómicas que regulan aspectos de interés agronómico y económico (rendimiento, calidad de grano, resistencia a sequía, etc.).

- Las técnicas que mayores avances han logrado son el cultivo de tejidos y células *in vitro*, así como el método de transformación de plantas (generación de plantas transgénicas) a través del vector *Agrobacterium tumefaciens*. Sin embargo, el último caso sólo es viable en aquellas plantas que ataca esta bacteria. Al infectar una planta, *A. tumefaciens* incorpora algunos de sus genes que se encuentran en sus plasmidios. Dicha cualidad es utilizada para transformar los vegetales con nuevas características. Para ello se manipula el genoma de la bacteria, sobre todo sus plasmidios, al cual se le integra el gen que se quiere incorporar al genoma de la planta de interés.

Cabe mencionar que este organismo no ataca a ningún cereal, incluyendo al maíz, que además tienen problemas para la regeneración a través del cultivo de tejidos.

Ante la problemática que reviste el uso de las técnicas más promisorias de la biotecnología para transformar y regenerar el maíz, comprendiendo todos los cereales, los investigadores han buscado otros métodos más efectivos para manipular el genoma de dichas plantas, sobre todo aquellas de importancia económica.

Así, se han generado nuevas técnicas como la electroporación, bombardeo con microproyectiles, regeneración protoplastos, cultivos de anteras, uso de marcadores genéticos.

Las primeras investigaciones biotecnológicas en maíz que tuvieron éxito se realizaron en 1990. Posteriormente, y en forma sucesiva, se han logrado nuevas transformaciones, que tratan de incidir en aquellos aspectos que revisten mayor interés agronómico, tales como rendimiento, fijación de nitrógeno, resistencia a stresses, etc.

De hecho, con las metodologías de transformación genética que están disponibles, se ha logrado manipular con éxito características que son regidas por un gene, sin embargo, la mayoría que son de importancia agronómica y económica, como el rendimiento, son regidas por varios genes.

Quintero (1993) reporta que se produjeron líneas haploides a través del cultivo de anteras y, asimismo, se han obtenido embriones somáticos. Por otra parte, utilizando protoplastos se ha logrado regenerar el maíz. Ello a sido gracias al uso de agentes mutagénicos, con el fin de obtener un incremento en la variabilidad genética en el cultivo de tejidos. Lo anterior posibilita que se puedan crear variedades con mayor vigor, con resistencia a bajas temperaturas y a herbicidas. También se utilizó la radiación del tejido con rayos X para obtener embriones somáticos.

Las diversas formas o sistemas disponibles para la transformación de las plantas se clasifican en directos e indirectos (Azpiroz, 1993):

a) Directos:

-Absorción directa de ADN por protoplastos.

- Electroporación.
- Microproyectiles.
- Microinyección.
- b) Indirectos:
 - Agrobacterium tumefaciens*.
 - Virus.
 - Bacterias.
 - Hongos.

La electroporación ha tenido éxito en la transformación de protoplastos de maíz. A su vez, los microproyectiles son usados satisfactoriamente para conferir resistencia a herbicidas (Ídem).

Por otro lado, en 1991 Gould demostró que *Agrobacterium tumefaciens* puede ser usado para transformar el maíz, al lograr una planta transgénica resistente a kanamicina y la producción de B-glucoronidasa (Ibídem). También se reporta que se tienen expectativas en el uso de otros vectores, tales como los virus de ADN de cadena doble y simple, así como hongos (Ídem).

aunado a lo anterior, se cuenta con herramientas auxiliares conocidas como marcadores genéticos, que sirven para elaborar mapas genéticos de las plantas.

Los marcadores genéticos que se han utilizado son: morfológicos, citológicos, bioquímicos y los moleculares (Guillen, 1993). En esta investigación se hará énfasis a los marcadores moleculares conocidos como Polimorfismo en la Longitud de

Fragmentos de Restricción (RFLP, siglas en inglés) y el Polimorfismo en el ADN Amplificado al Azar (RAPD, siglas en inglés).

- Los RFLP's se caracterizan por ser neutros en la selección, es decir no interfieren con las características a estudiar; su nivel de polimorfismo es alto; la variabilidad es detectada con facilidad, incluso si ésta es muy pequeña; son codominantes, por lo que son capaces de detectar cualquier genotipo en poblaciones segregantes; su presencia se puede ubicar en cualquier etapa del desarrollo de la planta y no se ven afectados por aspectos ambientales u otras limitantes de las plantas (Ídem).

El maíz es uno de los primeros cultivos donde se logró elaborar un mapa genético con el uso de RFLP, determinándose aspectos tales como rendimiento de grano, peso, etc. De hecho, la OCDE (1993) menciona que este grano cuenta con un mapa genético elaborado por métodos biotecnológicos, con el fin de coadyuvar en la selección en el proceso de mejoramiento genético.

Al respecto Goodman refiere que se han identificado y mapeado 1000 RFLP's. A su vez "...McMullen y Louie, identificaron dos RFLP's estrechamente ligados a un gen mayor responsable de los síntomas de respuesta a la raza A del virus del achaparramiento del maíz"(Cantrell, 1993, p. 153).

También se han realizado pruebas de pureza, caracterización varietal y es útil para realizar selección en programas de retrocruzas. "Este método acelera la recuperación del progenitor recurrente. Es muy útil para retrocruzar genes recesivos, cuando se

necesitan pruebas de progenie para identificar heterocigotes y también cuando la característica que se está transfiriendo no puede ser identificada antes de la floración"; así mismo, se utiliza para seleccionar "...resistencia a enfermedades por retrocruza (virus del achaparramiento del maíz y *Exserohilum turicum*), resistencia a insectos (genes Bt), genes restauradores de esterilidad citoplásmica masculina, resistencia a herbicidas...No hay duda que en vista de que el costo del uso de marcadores de ADN es reducido, aumentará el uso de esta técnica en programas de prácticas de mejoramiento de maíz" (Cantrell, 1993, p. 156).

El Polimorfismo en el ADN Amplificado al Azar (RAPD) fue desarrollado al descubrir que segmentos específicos de ADN pueden ser amplificados a través de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Sus características son las siguientes:

- Las secuencias primarias son universales y pueden utilizarse para cualquier especie.
- Se puede utilizar un gran número de secuencias primarias en un período de tiempo corto.
- La síntesis de secuencias primarias es al azar y más simple que en el caso de las sondas.
- No se necesita hacer transferencias de ADN del gel a membranas, lo que hace más corto el proceso de análisis.
- Se requieren pequeñas cantidades de ADN, por lo cual se puede extraer utilizando pequeñas cantidades de tejido y con metodologías simples."(Guillen, 1993, p. 181).

Los marcadores genéticos demostraron su utilidad en la caracterización genética del maíz, así como sus usos potenciales en el mejoramiento genético de las plantas. Sin embargo la utilización masiva se espera que sea a mediano plazo ya que actualmente su uso se restringe a investigación básica.

Otra herramienta que puede ser utilizada por el fitomejorador es el cultivo de tejidos y órganos inmaduros, cuya ventaja radica en que se obtienen nuevos genotipos en menor tiempo. Es decir, se obtiene híbridos en menos tiempo que el normal.

"Esta técnica permite acortar el tiempo de obtención de un híbrido en un 50%. Normalmente se debe esperar de 6 a 8 años para obtener líneas endocriadas y posteriormente crear híbridos; pero al usar los embriones inmaduros 15 días después de la polinización y cultivarlos *in vitro* hasta la obtención de plántula, lo cual toma alrededor de 5 días, se logra evitar la etapa de maduración, secado, trillado y selección de la semilla, ahorrando 50 días efectivos por ciclo" (Azpiroz, 1993, p. 172).

También es factible realizar lo que se ha denominado como retrocruzas aceleradas (ibídem), para introducir en alguna variedad caracteres de interés agronómico y económico, confiriéndole un mayor atractivo para los productores al convertirse en una variedad más redituable. Con su uso es posible obtener variedades resistentes a enfermedades, así como androesterilidad. Para el último caso se puede lograr la introducción de dicha característica en 390 días (Ídem).

Otra técnica es el cultivo de anteras, con lo cual se obtienen haploides (n), que posteriormente se utilizan para generar rápidamente plantas diploides homocigóticas, útiles para obtener híbridos (Ídem). Al respecto Torres (1991) reporta que con la utilización de esta herramienta se logró producir variedades de alto rendimiento de maíz.

Diversas empresas, diseminadas en varias latitudes del mundo, incluyen dentro de sus programas de investigación al maíz, utilizando algunas de las más prometedoras técnicas de la biotecnología, en la búsqueda de variedades con mejores características de importancia económica. El cuadro 3.10 incluye algunas empresas que trabajan con maíz y las virtudes que pretenden incorporar.

CUADRO 3.10: COMPAÑÍAS QUE REALIZAN INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MAÍZ.

<i>EMPRESA</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
Advanced Genetic Sciences	Resistentes a plagas, resistencia a bajas temperaturas.
Biotechnica International	Fijación de nitrógeno.
Agracetus	Polen de maíz con genes marcadores.
Dekalb-Pfizer Genetics	Semillas de maíz híbrido.
Dekalb	Resistencia al herbicida "Biolophos".
Phytogen	Semillas resistentes a plagas, plaguicidas y sequía
Mycogen	Resistencia a insectos, basado en Bt.
AgrEvo, Dekalb, Northrup King, y otras	Tolerancia a "Glufosinato".
Cyanamid	Tolerancia a herbicidas.
Zeneca	Tolerancia al herbicida "Basta" de Hoechst.
Monsanto	Resistencia a insectos. Resistencia al herbicida "Round-Up".
Ciba	Resistencia al barrenador europeo del maíz.
Calgene, ICI/Biotechnica, Phyto-dinamics	Resistencia al herbicida "Round-Up"

FUENTE: Chemical Week, 27-09-1995, pp. 25-27; Chemical Week, 18-08-1993; Torres, 1991, p. 69; Sondahl y Miller, 1992; Greenpeace México, 1996; Maitland, 1996.

Un estudio (DGSV-SAGAR, agosto de 1995) indica que a nivel mundial se han realizado un total de 1025 ensayos de campo con diversos cultivos, donde el maíz ocupa el 11.7% del total, que corresponde a 120 ensayos. De éstos, el 57.5% corresponde a Norte América (Estados Unidos, Canadá, México); el 29.2% para EU/EFTA (Francia, Bélgica, Reino Unido, Holanda, otros); 12.5% para Centro/Sur América (Argentina, Chile y otros); 0.8% para Este Medio/ África. Cabe mencionar que en el Borde Pacífico (China, Nueva Zelanda, Australia, Japón) no reportan ningún ensayo.

La EPA (Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos) ha expedido un permiso especial para planta transgénica de maíz, cuya cualidad consiste en elaborar sustancias insecticidas. Para lograr lo anterior se le transfirió el gen responsable de la síntesis de la delta endotoxina de *Bacillus thuringiensis* (Bt). Son "...semillas de maíz que contienen el gen CryIA(b) que proporciona resistencia contra el barrenador europeo del maíz y otros lepidópteros (palomillas) plaga..." (Dirección General de Sanidad Vegetal-SAGAR, junio de 1995, pp. 2-3).

En 1988 se otorga la primera patente para maíz con características nuevas: resistencia a herbicidas. Fue desarrollado bajo los auspicios de la American Cyanamid en una empresa biotecnológica de los Estados Unidos (Vega y Trujillo, 1989).

Utilizando transformación balística o revolver génico (desarrollado por Du Pont), se han logrado algunos éxitos. Tal es el caso de la transformación con genes marcadores de polen de maíz realizada por Agracetus. Por su parte Monsanto, en colaboración

con el Servicio de Investigación del USDA, lograron introducir dos genes marcadores. Así mismo, Dekalb creó una planta que presenta resistencia al herbicida Biolophos (Sondahl y Miller, 1992).

El uso de los protoplastos para la transformación genética requiere que la planta responda eficientemente a la regeneración por este medio. En el caso del maíz resultó ser muy efectivo, ya que "...en la actualidad se pueden obtener sin dificultad plantas transgénicas de maíz...mediante la interacción directa de protoplastos y plasmidios". (Cocking, 1989, p. 82)

La OCDE (1993) reporta que a través de cultivo de tejidos se logró crear un maíz altamente productor de triptofano. Esta misma técnica ha sido utilizada para seleccionar plantas con características agrícolas importantes como resistencia a patógenos (*Helminthosporium maydis*). (Quintero, 1993).

Los métodos comúnmente utilizados en la actualidad quedan referidos en el cuadro 3.11 donde, además se indica el tipo de explante que se ha utilizado.

Por tanto, en maíz se han seguido las siguientes líneas de investigación biotecnológica: resistencia a plagas, enfermedades, sequías, fijación de nitrógeno y crecimiento de su valor nutricional. Son desarrolladas tanto por empresas biotecnológicas y/o transnacionales y centros de investigación agrícolas, nacionales y/o internacionales, cuyos esfuerzos pueden verse coronados en corto plazo (Añe, 1994).

**CUADRO 3.11: SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN Y REGENERACIÓN
ACTUALMENTE DISPONIBLES PARA MAÍZ**

Método	Explante
Organogénesis vía callo embriogénesis cultivo de protoplastos Micropropagación cultivo de anteras	Mesocotiledones Embrión inmaduro Protoplasto Meristemo apical anteras

FUENTE: Elaboración propia, en base a información de: Quintero, 1993, pp. 53, 139, 143, 148, 151.

Se pronostica que para el año 2000 se tengan resultados concretos, traducidos en nuevas variedades de la gramínea, cuyas características han sido insertadas a través de alguna técnica de la biorrevolución. Así, "...el desarrollo biotecnológico en el maíz, permite pronosticar para el año 2000 la existencia de variedades de plantas transformadas genéticamente. De acuerdo con los estudios realizados por el Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), en estas nuevas variedades de maíz, se estima que los costos de producción y las pérdidas por cultivos pueden reducirse en un 40 o 50% en ese mismo año, ya que la introducción de genes resistentes a plagas y enfermedades tiende a limitar el uso de fertilizantes, insecticidas y pesticidas que en la actualidad provocan graves problemas ambientales y traen como consecuencia pérdidas considerables en la producción" (Ídem, p. 8).

El cuadro 3.12 indica las contribuciones que tendrán diversas áreas de investigación en el incremento de la producción de maíz, así como el año en que se darán dichas contribuciones.

En estados Unidos se tienen estudios sobre el impacto de las tasas de crecimiento de la producción, así como las previsiones para la producción de maíz en el año 2000 (véase cuadro 3.13)

CUADRO 3.12: CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN AGROBIOTECNOLÓGICA EN EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Área de Investigación	Año de la primera contribución significativa	Contribución al rendimiento para el año 2000 (kg/ha)
Incremento en la eficiencia fotosintética	1995	497.0
Cultivo de células y tejidos	1990	195.0
Reguladores del crecimiento	1994	988.0
Fijación biológica del nitrógeno atmosférico	1996	142.0

FUENTE: Sasson, 1988, p. 62.

CUADRO 3.13: PERSPECTIVAS DEL CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN ESTADOS UNIDOS PARA EL AÑO 2000

Concepto	Unidades	1984	Año 2000		
			sin nueva tecnología	Caso más probable	Nva Tecnol.
Producción	millones de ton.	195	218	236	246
Tasa de crecim	Porcent.		0.7	1.2	1.5

FUENTE: Quintero, 1993.

La investigación realizada por las grandes empresas semilleras o productoras de agroquímicos, que han copado el campo biotecnológico, está centrada en la

generación de variedades de nuevo tipo, cuya característica principal es la tolerancia a herbicidas. El fin es netamente comercial.

Con ello tienen la posibilidad de alargar el tiempo de vida comercial de sus productos químicos, donde invirtieron grandes cantidades de recursos para su creación. En cambio, generar una nueva variedad es mucho más barato que producir otro herbicida, con características superiores.

CUADRO 3.14: RESUMEN DE LAS INICIATIVAS INTERNACIONALES DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA: MAÍZ

Nombre (Institución anfitrión)	Prioridades	Región
Biotecnología agrícola para la productividad sustentable, (Universidad del Estado de Michigan)	Ingeniería genética para resistencia a plagas y enfermedades de cultivos	Internacional
Programa de investigación en ciencias de los vegetales ODA (Universidad de Wales)	Cultivos mejorados genéticamente	Internacional
Reducción de pérdidas en maíz por plagas por mejoramiento de la planta hospedera al conferir resistencia con los genes tóxicos de <i>Bacillus thuringiensis</i> (CIMMYT)	Germoplasma de maíz mejorado con resistencia a insectos	Internacional
Programa regional de biotecnología para América Latina y el Caribe (varias organizaciones)	Colaboración en proyectos de investigación Entrenamiento	América Latina y el Caribe

FUENTE: Cohen y Komen. 1994. p. 259N-260N.

A ello se debe que las transnacionales de agroquímicos, como Monsanto, estén incidiendo fuertemente en las investigaciones biotecnológicas de las universidades y

centros de investigación públicos y, a su vez, creando sus propios laboratorios, así como adquiriendo acciones o empresas pioneras en biotecnología.

- De suma importancia revisten los esfuerzos que se presentan en los programas internacionales y la colaboración entre programas nacionales de países en desarrollo en investigación biotecnológica en maíz. Esto se cita en el cuadro 3.14.

TRIGO

"El trigo es el primero entre los cultivos alimenticios mundiales: el primer producto en el Medio Oriente y África, y un producto secundario y un cultivo comercial importante en América Latina y en partes de Asia y África"(Sociológica, num 16, 1991, p. 240)

Al igual que el maíz este cereal representa un reto para los biotecnólogos, ya que reviste una serie de problemas técnicos para su transformación, situación que a últimas fechas está siendo superado.

Los últimos reportes indican algunos avances significativos en la regeneración y transformación de la gramínea. Para ello se están utilizando: el método de organogénesis vía callo; explante de embrión y semilla; embriogénesis a través de embrión inmaduro. Con el cultivo de anteras se logró obtener callos y plantas haploides; así como por medio del cultivo de tejidos.

Quintero (1993, p. 153) reporta los avances más recientes que se han verificado en trigo, de tal forma que existen altas posibilidades de que en un futuro reciente se puedan obtener variedades mejoradas, con características superiores.

Así:

“-Se han seleccionado plantas resistentes al calor y a la desecación, utilizando benciladamina como agente inductor;

-existen estudios sobre la frecuencia de variación somaclonal en poblaciones de trigo, generadas por cultivo de tejidos;

-se han aislado variedades tolerantes a la congelación por variación somaclonal.”

De suma importancia ha resultado la generación de haploides, cuya duplicación se obtiene por medio del cultivo de polen o de anteras, lográndose la obtención de variedades altamente rendidoras (Torres, 1991).

Se considera que la biotecnología proveerá de poderosas herramientas a los fitomejoradores y, de hecho, actuará como un potencionador de los sistemas tradicionales de mejoramiento genético. Es decir, el fitomejoramiento gana en rapidez y precisión, utilizando el cultivo de tejidos (Torres, 1991).

El uso de RFLP a resultado de suma importancia para tener un mayor conocimiento del genoma del trigo y los mecanismos que rigen el comportamiento de la planta. Por este medio se logró conformar el mapa genético del trigo.

El Chemical Week (27-09-1995) consigna que para el próximo año (1996) se tendrá en el mercado un trigo tolerante a herbicidas. Por su parte, Ciba Seeds, Mycogen, Monsanto y Northrup King investigan sobre resistencia a insectos, buscando la inclusión de la endotoxina del Bt. Se considera su posible introducción al mercado en 1996. Por su parte AgrEvo invierte recursos y tiempo para generar un trigo tolerante al herbicida Liberty. Pronóstica que estará presente en el mercado estadounidense en 1997 (Ídem).

Otros proyectos biotecnológicos son los desarrollados por Agrigenetics en semilla híbrida de trigo; Pioneer Hi-Bred International trabaja en la obtención de semillas de la gramínea por ingeniería genética; Phytogen en semillas resistentes a plagas, plaguicidas y sequía en cereales y Advanced Genetic Sciencies investiga en semillas de cereales resistentes a plagas y a bajas temperaturas (Ídem).

Monsanto investiga resistencia a sequía en trigo y de acuerdo a sus planes, pronostica que para el año 2002 tendrá en el mercado una variedad con dicha característica (OCDE, 1995).

Bajaj (1989) reporta el estudio de la inducción de variabilidad genética en trigo, utilizando cultivo *in vitro*, observándose variabilidad somaclonal y gametoclinal, la

cual ha resultado heredable. En dichos trabajos se han logrado plantas con espigas más grandes y mayor rendimiento.

- “Las plantas completas a partir de embriones cigotas o de polen de trigo...que han sido congelados (-196°C) establecen el uso de la criopreservación como medio para conservar las variantes somaclonales y gametoclonales. Es muy importante que se incorpore la variabilidad generada *in vitro* en los programas de mejoramiento de trigo,...pues podría permitir el rápido lanzamiento de variedades mejoradas.” (Bajaj, 1989, p. 203).

Se han seleccionado líneas de trigo que presentan resistencia a los herbicidas Imidazolinone y sulfonilurea. Para el primer caso se obtuvo la patente en 1988 y en base a un programa de investigación se logró incorporar dicha cualidad en 100 líneas de trigo. Tal programa fue realizado por Pioneer Hi-Bred International, Inc., una de las más grandes compañías semilleras del mundo.

Un estudio del Banco Mundial (1991) indica que en trigo la problemática más común son enfermedades fungosas y virosas, siendo potencialmente posible su solución a través de ingeniería genética. Así mismo menciona que las nuevas tecnologías disponibles para trigo son: nuevos diagnósticos (basados en anticuerpos monoclonales o sondas de ácido nucleico), sistemas de rápida propagación (que permiten la multiplicación de nuevas variedades), y en menor medida sistemas de transformación y sistemas de regeneración. Ellos tendrán un impacto significativo a largo plazo (más de 10 años).

Los resultados obtenidos a nivel de callos presentan una eficiencia que es suficiente para ser utilizados para pruebas experimentales en genética de células somáticas. En el cuadro 3.15 se indican las especies de trigo que fueron transformadas por medio de la transferencia de ADN extraño y su respectivo vector

CUADRO 3.15: TRIGO: TRANSFERENCIA DE ADN, DEPENDIENDO DEL VECTOR^a

Vector	Especie (fuente)
Transferencia de ADN a protoplastos	<i>Triticum monococcum</i> (Lörz et al. 1985)
Microinyección de ADN en embriones	<i>Triticum aestivum</i> (Poltrykus, comunicación personal)
Mediante transformación de polen	<i>Triticum aestivum</i> (Hess 1988, Picard et al. 1988)
Incorporación de ADN a embriones	<i>Triticum aestivum</i> (Töpfer 1987)
Agrobacterium como vector	<i>Triticum aestivum</i> (Dale et al. 1988)
Virus como vector	<i>Triticum monococcum</i> (Matzeit 1987)

FUENTE: Mujeeb-Kazi, a., and L. A. Sitch, eds. 1989. p. 97.

^a Esta tabla resumen es una tentativa sobre la transformación de los cultivos. Sin embargo la transformación e integración estable del gen extraño no ha sido confirmado en todos los casos.

Se tiene conocimiento de los avances que se han logrado en estudios realizados por centros internacionales agrupados en CGIAR, que trabajan fundamentalmente en los países en desarrollo, buscando afanosamente obtener variedades que sean propicias para desarrollarse en las condiciones propias de estos países. También hacen grandes esfuerzos por obtener una idea lo más realista posible de la riqueza en germoplasma de los países del tercer mundo.

Por ello estos centros internacionales de investigación utilizan en sus proyectos de investigación las técnicas y procesos biotecnológicos, con la finalidad de contribuir en el aumento de la eficiencia de los procedimientos convencionales del fitomejoramiento. El cuadro 3.16 es una muestra de este trabajo.

CUADRO 3.16: APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN TRIGO, REALIZADA POR CENTROS CGIAR

Actividad en biotecnología	Componentes convencionales
Electroforesis Provee marcadores bioquímicos para germoplasma extranjero en cruces amplias.	Germoplasma
Anticuerpos monoclonales Detección del virus del enanismo amarillo de la cebada.	Experimentación
Variación somaclonal Selección de somaclones para trigo de primavera con tolerancia a salinidad.	Mejoramiento
Regeneración y selección somaclonal en trigos duros y blandos (panificación).	Mejoramiento
Cultivo de tejidos para introgresión de genes extranjeros Uso de <i>Aegilops</i> como fuente de resistencia al carbón parcial.	Germoplasma
Uso de <i>Agropyron</i> para tolerancia a <i>Helminthosporium</i> .	Germoplasma
Trigo cruzado con líneas que contengan cromosomas de centeno.	Germoplasma

Fuente: Cohen, 1989. p. 298.

De esta forma se cuenta con importantes proyectos biotecnológicos desarrollados en prácticamente todos los continentes, unos con más, otros con menos recursos, pero al fin de cuenta son iniciativas que tendrán repercusiones en el futuro agrícola de la región donde se desarrollen y, porque no, en la agricultura mundial.

El próximo milenio se vaticina como el siglo del conocimiento y los países se preparan para actuar bajo estas nuevas condiciones de producción.

A pesar de las dificultades que existen para la transformación y regeneración de una planta transgénica, se han logrado importantes avances que indican que en un futuro, a mediano o largo plazo, se tendrá el conocimiento y las herramientas científicas que harán posible contar con plantas de trigo biogeneradas, con características superiores.

3.2.2. INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO DE MAÍZ Y TRIGO

En México las investigaciones biotecnológicas en maíz y trigo son muy incipientes, encontrándose la misma problemática que se analizó en el apartado sobre las investigaciones que realizan al respecto los países desarrollados.

Por otra parte, los recursos que se destinan a esta actividad no son abundantes, los cuales, en su mayoría, salen del erario público, siendo exigua la participación de la iniciativa privada mexicana en proyectos biotecnológicos en estos granos.

Tres centros de investigación se destacan en este tipo de investigación en maíz y trigo. Ellos son: IBT, el CINVESTAV-Irapuato y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Este último de índole internacional, apoyado por diversos países y fundaciones Internacionales.

Existen otros centros y universidades que dedican esfuerzos y recursos a la investigación biotecnológica en maíz y trigo, Sepulveda (1992, pp. 85-86) menciona que "...muy pocas instituciones trabajan con granos básicos; el grueso de los proyectos agrícolas son para fruticultura, horticultura y algunos agroindustriales como caña, remolacha; henequén, jojoba, barbasco y palma aceitera..."

Sin embargo los pocos centros y/o instituciones educativas que llevan a cabo tales investigaciones, han tenido la claridad suficiente para determinar que el estudio de los principales granos básicos de la población mexicana es prioritario. Así mismo es importante señalar que las tendencias de investigación en estas gramíneas no siguen los patrones observados en los países desarrollados, sino más bien se trata de incidir en cuestiones como biofertilización, fijación biológica del nitrógeno, mejoramiento genético asistido con RFLP, resistencia a plagas, enfermedades y estrés (sequía, salinidad, metales pesados, etc.).

Casas (1992) registra en su estudio realizada entre 1986 y 1987, con un universo de 38 unidades de investigación, que 10 unidades que corresponden al 26%, realizan mejoramiento genético utilizando alguna técnica biotecnológica. De esas 10 existen 4 cuya especie investigada es el trigo y/o maíz. De estas últimas, 3 estudian el maíz (Laboratorio de Cultivos de Tejidos Vegetales, Proyecto Fito-INIA, Universidad Autónoma Chapingo (F-INIA-UACH); Laboratorio de Cultivo de Tejidos, Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN); Laboratorio de Fertilización Cruzada, Programa del Maíz, Centro Internacional de

Mejoramiento de Maíz y Trigo PM-CIMMYT)) y el trigo sólo es estudiado en el CIMMYT (Laboratorio de Fertilización Cruzada. Programa del Trigo).

- Las técnicas utilizadas son variadas. En el proyecto Fito-INIA-UACH se aplica la variación somaclonal y selección *in vitro* y el fin es obtener un maíz resistente. En la UAAAN se utiliza la selección *in vitro*, con el fin de obtener una gramínea resistente a la sequía. Por su parte el CIMMYT investiga por medio de rescate de embriones de maíz y para el caso del trigo también se aplica la selección *in vitro*, con el objetivo de generar un trigo con resistencia a enfermedades, tolerancia al estrés, así como tolerancia al aluminio.

De suma importancia es la investigación básica para conocer las bases que rigen los diversos mecanismos de la herencia, con el fin de tener mayor seguridad en los pasos a seguir en las investigaciones. Se dedican a este tipo de estudios 8 unidades, que corresponde al 21% del total (38 unidades). De éstas, 3 realizan investigaciones en maíz, con las siguientes líneas de investigación: estudios morfológicos, fisiológicos y genéticos *in vitro*, así como estudios bioquímicos (Facultad de Química-UNAM, Centro de Genética y el Centro de Botánica del Colegio de Posgraduados). No se reporta investigación básica en trigo.

Los bioinsecticidas son estudiados por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), el IPN, UNAM y el Instituto Tecnológico de Durango (ITD) que tienen proyectos de investigación sobre cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* y sus efectos como insecticidas en lepidópteros, entre ellos el barrenador del maíz (*Spodoptera*

frujiperda). Así mismo se busca aislar las toxinas biocidas que resulten con mayor efectividad en el control de plagas, con el fin de generar insecticidas industriales.

Estos proyectos son financiados por Naciones Unidas, Banco Mundial y el Fondo

- Especial de la Organización Mundial de la Salud (Sepulveda, 1992).

Los principales proyectos biotecnológicos desarrollados en México en estas gramíneas se presentan en los cuadros 3.17 y 3.18.

CUADRO 3.17: PROYECTOS DE BIOTECNOLOGÍA EN MAÍZ Y TRIGO EN MÉXICO

Institución	Especie	Objetivos	Áreas
UACH	Maíz	Selección clonal de plantas tolerantes a sequía	Fitomejoramiento
CIMMYT	Maíz	Obtención de híbridos y preservación de germoplasma	Fitomejoramiento
	Maíz	Tolerancia a sequía; componentes de rendimiento	Fitomejoramiento
	Trigo y maíz	Obtención de resistencia a plagas y enfermedades	Fitomejoramiento
CINVESTAV-IRAPUATO	Maíz	Obtención de resistencia a plagas y enfermedades	Fitomejoramiento
Fac. Química (UNAM)	Maíz	Resistencia a sequía	Bioquímica y mejoramiento
Inst. Tec. Dgo.	Maíz	Producción de insecticida, basado en <i>Bacillus thuringiensis</i>	Propagación en fermentadores
UANL	Maíz	Bioinsecticidas contra lepidópteros (<i>Bacillus thuringiensis</i> .)	Microbiología

FUENTE: Sepulveda; 1992.

**CUADRO 3.18: PRINCIPALES PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN
BIOTECNOLÓGICA EN MAÍZ EN MÉXICO**

Institución	Actividades
Dpto. de Bioquímica-Fac. de Química (UNAM)	1. Estudios básicos en germinación de embriones. 2. Efectos de 2, 4-D y Mecarprop en cultivo de embriones. 2. Metabolismo del nitrógeno.
Laboratorio de biotecnología del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados	1. Morfogénesis: Embriogénesis y organogénesis. 2. Variación somaclonal. 3. Regulación <i>in vitro</i> de crecimiento y desarrollo de estructuras reproductivas.
Dpto. de Bioquímica de la Fac. de Química y laboratorio de Biotecnología del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados	1. Cultivo <i>in vitro</i> de embriones maduros e inmaduros. 2. Cultivo de células en suspensión para inducir embriogénesis somática. 3. Estudios de marcadores bioquímicos durante el proceso de embriogénesis.
CIMMYT	1. Uso de RFLP's y sondas de ADN para incrementar la eficiencia de los programas de mejoramiento.

FUENTE: Matus, Puente y López, 1990. p. 77.

“El Centro de Investigaciones Avanzadas (CINVESTAV) del IPN en Irapuato, con mucho la institución líder, trabaja un proyecto conjunto con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con *B. thuringiensis* para clonarlo al maíz como insecticida propio” (Sepulveda, 1992, p. 88). El financiamiento para esta investigación se obtiene de la ONU, AID, OMS y la Fundación Rockefeller. Las expectativas que se esperan es tener resultados en aproximadamente cuatro años, por lo que se tenía previsto que para 1995 se tuvieran en las manos reportes concluyentes del proyecto. A la fecha no se tiene conocimiento del estado que guarda dicha investigación.

Una breve sinopsis de la investigación biotecnológica en gramíneas (maíz y trigo) que realiza el CINVESTAV-Irapuato indica los siguiente trabajos:

- Factores de resistencia al ataque de insectos y hongos en plantas, principalmente maíz. Se investiga la presencia de inhibidores de enzimas provenientes de insectos y hongos de almacén con el fin de obtener resistencia natural.
- Obtención de plantas con proteínas de alta calidad nutricional. Se han aislado y caracterizado algunas de las proteínas de reserva de amaranto, ricas en lisina y aminoácidos azufrados. Se busca clonar los genes responsables a plantas como maíz y frijol.
- Utilización de marcadores moleculares para evaluar el papel de la heterocigosis en el rendimiento de variedades de maíz. Se estudia Polimorfismos en la Longitud de Fragmentos de Restricción (RFLP's) en 80 secuencias de copia única distribuidas a lo largo del genoma del maíz. Esto permitirá estimar el nivel de heterocigosis en variedades muy rendidoras y poco rendidoras para entonces evaluar la relación heterocigosis y rendimiento.
- Uso de mapas genéticos molecular y marcadores para el mejoramiento de maíz tropical (Cinvestav-Unidad Irapuato, 1989).

Una nota periodística (Guzmán, 1996) informa de importante proyecto para producir bioinsecticidas a partir de la bacteria *Bacillus thuringiensis* y los hongos *Beauveria bassiana*, *Matarrisium* y *Pacielomyces*, enemigos naturales de plagas de maíz y de otros cultivos; así como la lombriz *Steinernema feltiade*.

La producción de bioinsecticidas basados en bacterias y hongos, los cuales ya están en el mercado, producidos comercialmente por la empresa Agrobionsa.

En su desarrollo participan 14 investigadores de varios centros y/o universidades, tales como: CINVESTAV, Instituto Tecnológico de Celaya, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba y el CINVESTAV-Irapuato.

Otras instituciones realizan importantes trabajos en maíz. En el 1^{er} Congreso Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal, realizado el 16-18 de marzo de 1994, en la Facultad de estudios Superiores de Cuautitlan, UNAM (FES-Cuautitlan) se presentaron trabajos del CIMMYT y el Departamento de Fitotecnia de la UACH.

El primero investiga sobre regeneración de plantas de embriones inmaduros de variedades mexicanas de maíz S-2 y V-22. Estas plantas regeneradas tienen la posibilidad de ser útiles en los programas de mejoramiento genético y en experimentos de transformación. La segunda institución realiza una serie de evaluaciones preliminares de los tipos o medios de cultivo y genotipos de maíz, con la finalidad de obtener haploides. También estudian el cultivo de anteras.

Con anterioridad se mencionó que la regeneración de maíz es muy difícil. Sin embargo se ha descubierto que algunos genotipos tienen la cualidad de responder favorablemente a esta técnica. Por ello el CIMMYT, en colaboración con el Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), se han dado a la tarea de

“...identificar las líneas sobresalientes y las variedades de polinización libre de valles altos, que tengan esta capacidad de regenerar *in vitro* plántulas sanas. Fruto de esta colaboración ha sido la identificación de dos sintéticos de Valles Altos con esta capacidad” (Azpiroz, 1993, p. 173).

El CIMMYT y el CINVESTAV-Irapuato tienen planes de explorar las alternativas que existen para la introducción en el genoma del maíz los genes responsables de la producción de la endotoxina de *Bt*, con el fin de conferirle resistencia a la depredación de los insectos (Ídem).

Estas mismas instituciones están buscando identificar, a través de RFLP, cuales Locus de Caracteres Cuantitativos (QTL's) tienen que ver con la tolerancia a sequía en maíz. En el CIMMYT la investigación está bajo la responsabilidad del Dr. Hoisington y en el CINVESTAV-Irapuato por la Dra. June Simpson (Guillen, 1993).

El informe 1992 del IBT-UNAM indica que se tiene una línea de investigación en biología molecular y Biotecnología de plantas con énfasis en el estrés en las plantas (sequía, calor, frío, salinidad). Se estudian los llamados vegetales que “resucitan”. Es decir, aquellas plantas que tienen la propiedad de rehidratarse después de sufrir una severa deshidratación. Para ello se investiga a *Cratogeomys plantagineum*, originaria de África y *Selaginella lepidophylla*, de México.

En esta investigación se trata de identificar los genes responsables de conferir tal característica y en el futuro su posible inserción en plantas de interés económico,

como el maíz, de tal forma que tendrían resistencia a una situación de déficit hídrico. Se considera que "...en el complejo proceso de resistencia a la sequía participan posiblemente de diez a veinte genes..." (López Suares, 1996, p. 3).

La importancia del estudio radica en que México es un país que se caracteriza por tener en gran parte de su territorio, condiciones de inadecuado nivel de precipitación pluvial para la producción, aunado al hecho que aproximadamente el 70% de la producción es de temporal, por lo que los rendimientos de los cultivos están sujetos a la existencia de un buen temporal (Ibídem.).

"No es relevante convertir una planta de cebada en un cactus, ni hacer del maíz una planta de resurrección. Pero si tendrá un gran impacto social cuando por medio de la biotecnología se logre que el maíz y otros comestibles como el trigo, el frijol y el arroz, incrementen su resistencia a la sequía, pues dependerán menos del temporal,...Esta es una alternativa que ahorraría enormes costos y que podría extender las zonas de cultivo a regiones áridas y semiáridas..."(Ibídem, p. 3).

Otra línea de investigación que se tiene en el Instituto es sobre genética y biología molecular de la interacción microorganismo-planta, con la finalidad de esclarecer los mecanismos que se presentan entre las plantas y microorganismos fijadores de nitrógeno. Es un estudio a nivel molecular. Entre las plantas estudiadas se encuentra el maíz, sobre el cual se investiga la genética y fisiología de la simbiosis asociativa entre bacterias fijadoras de nitrógeno, como el *Azospirillum brasilensis* y la planta de

maíz, para evaluar su contribución o potencial para la productividad vegetal (IBT-UNAM, 1992).

- La fijación biológica de nitrógeno es investigada por un total de 22 instituciones, abarcando aspectos de investigación básica, biología molecular, identificación de microorganismos, cuestiones de ecología, biología de la simbiosis, etc. (Casas, 1992).

Esta temática también ha sido estudiado por un grupo de Microbiología del Suelo del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de la Universidad Autónoma de Puebla, que han registrado ciertos avances en la inoculación de semilla de maíz y trigo, proceso que le denomina biofertilización, vía bacterización de semilla. Esta se ha aplicado en algunas regiones de los estados de Veracruz, Tlaxcala, Puebla, Morelos y Guerrero (Cárcaño, 1993).

El uso de *Azospirillum* como biofertilizante ha sido validado a nivel de laboratorio y en campo. Para el primer caso “...Paredes Cardona y col. demuestran incrementos significativos en el peso seco tanto de follaje como de la raíz de plantas de maíz, al inocular la planta en macetas, reportando incrementos con respecto a las plantas testigo, entre 22 y 118% de masa radical, la parte aérea entre 10 y 91% y el contenido de nitrógeno total hasta 101%, así como en la absorción de minerales y en el rendimiento de grano” (Cárcaño, 1993, p. 37).

El CIMMYT ha desarrollado una labor de fitomejoramiento en maíz y trigo durante décadas. A últimas fechas su trabajo se potencia con la utilización de las innovadoras tecnologías que conforman la agrobiotecnología. El trabajo formal se inicia con la construcción y equipamiento de un laboratorio de biotecnología en 1988. Desde 1986 el Centro mostró el interés que le despertó al establecer una Red de Colaboración Internacional en Biotecnología de Maíz, que involucraría a los institutos del sector público y privado, tanto de los países en vías de desarrollo como de los industrializados (Sociológica, 1991).

Dentro de su programa de cruces amplios en maíz y trigo, que consiste en realizar cruces con los parientes silvestres, que presentan resistencia a insectos y enfermedades, así como tolerancia al estrés (sequía, se realizan cruces entre el maíz y *Tripsacum*.

El uso de la técnica no había reportado resultados contundentes, más bien pobres, debido a problemas que tiene que ver con barreras de cruzamiento y desarrollo embrionario raquíptico. Dicha situación empieza a ser superada utilizando técnicas biotecnológicas.

En la búsqueda de mejorar las características del maíz se realizan innumerables experimentos e investigaciones, de tal forma que "...después de dos años de explorar incesantemente el ADN de plantas de maíz tropical, los genetistas moleculares del CIMMYT han localizado varias regiones cromosómicas que controlan la resistencia al barrenador del Suroeste, un insecto extremadamente nocivo para el maíz, y en el

proceso han generado el primer mapa genético del maíz tropical. Este es un paso crítico hacia la realización del sueño dorado de los genetistas de efectuar lo que se podría llamar “fitomejoramiento molecular”, y de hacer que el probado, pero tardado, proceso fitotécnico tradicional sea más eficiente y menos costoso” (Aguilar, 1994, p. 35).

Respecto al trigo se sigue la misma metodología (cruzas amplias). Después de identificar las proporciones de cromosomas que contienen la información de interés. Estas son transferidas al material genético del trigo. De acuerdo con el Dr. Mujeeb, aproximadamente el 50% del germoplasma del cereal del CIMMYT posee las modificaciones genéticas que le han introducido (Tamayo, 1944).

El INIFAP es el principal centro de investigación, a nivel nacional, de los aspectos agropecuarios. Incorpora a sus programas de investigación las tecnologías de la biotecnología. En 1990 el CIFAP-Mex., abre dos líneas de trabajo:

- 1) Cultivo *in vitro* de órganos y tejidos vegetales;
- 2) marcadores genéticos moleculares.

Para el caso de cultivo *in vitro* se ha logrado poner a disposición del fitomejorador metodologías para el cultivo *in vitro* de embriones inmaduros de maíz (Azpiroz, Guillen, Montero, Luna y Martínez; 1991).

Los estudios con marcadores genéticos moleculares, utilizando RFLP's, lo realizan en colaboración con el CIMMYT, abarcando dos líneas de investigación:

1) Caracterización molecular de material genético;

2) evaluación genética de líneas de maíz.

- La caracterización se realiza con la finalidad de determinar pureza varietal de los genotipos de maíz que se utilizan en los programas de mejoramiento genético a nivel nacional y tener seguridad en la calidad de la semilla que se utilice en el proceso productivo. También se hace para identificar líneas y variedades para proteger los derechos de patente (Ibídem).

La Universidad Autónoma Chapingo (UACH) logró, dentro de su programa de biotecnología del Departamento de Fitotecnia, obtener embriones androgenéticos en maíz (Idem).

A la fecha no ha salido al mercado una planta transgénica de maíz o trigo generada y producida en México. Los trabajos al respecto están a nivel de laboratorio. Los mayores avances se observan en biofertilización y el uso de algunas técnicas biotecnológicas, como RFLP's, cultivo *in vitro* de embriones inmaduros, variación somaclonal, con el fin de apoyar y acelerar el proceso de fitomejoramiento tradicional. Esa es la línea que siguen el CIMMYT e INIFAP y un poco el CINVESTAV.

Sin embargo este último pone más énfasis en estudios básicos y explora las posibilidades de transformar y crear una planta transgénica de maíz o trigo, que posea

las cualidades que son de interés para el agricultor mexicano. Lo mismo sucede en el IBT-UNAM.

- En suma, la investigación agrobiotecnológica en maíz y trigo no ha logrado obtener resultados concluyentes a nivel comercial, existiendo avances en laboratorio. La tendencia que sigue la investigación es buscar la interacción entre biotecnología y mejoramiento tradicional, con la finalidad de lograr lo que se ha denominado como “fitomejoramiento molecular” (Aguilar, 1994). Esta posibilidad que esta siendo explorada implica que los resultados de los fitomejoradores sean más rápidos y menos costosos.

Es necesario mencionar que importantes transnacionales han generado en sus laboratorios ubicados en los países industrializados, plantas transgénicas de maíz y trigo con resistencia a herbicidas, que en dado momento llegarán a estar presentes en el mercado nacional de semillas.

Du Pont pone a disposición de los industriales mexicanos un grano de maíz de inmejorable calidad para consumo animal: las variedades Optimum 1 y 2. Fueron generados por procesos biotecnológicos que posibilitaron la introducción de genes de otras variedades, confiriéndole la característica de alto contenido de aceite, pasando de 3.5 del maíz común a 5.7 y 8.7, respectivamente (Guadarrama, 1995).

La compañía planeó para 1995 exportar 80 mil toneladas a México, que le representaría ventas por 20 millones de dólares, que rebasa en más del doble las

ventas registradas en 1994, año en que se facturaron ventas por 9 millones de dólares (Ibídem).

El Grupo Pulsar, dueño de Agroindustrias La Moderna, adquirió la empresa Asgrow Seed Co., una de las principales semilleras del mundo, que incluye dentro de su estrategia productiva a la agrobiotecnología, donde tiene importantes proyectos. Posteriormente adquieren a Petoseed, creando una gran empresa que pretende ubicarse en la vanguardia de los negocios del sector agrícola.

De acuerdo con su estrategia se construyeron dos Centros Internacionales de Investigación y Capacitación Agropecuaria en Chiapas y Nayarit, donde se llevan a cabo las investigaciones agrobiotecnológicas de la empresa. Sus funcionarios mencionan que gracias a su utilización se ha logrado que el rendimiento en maíz se haya incrementado de 2 ton a 8 ton/ha (Soto, 1995).

3.2.3. IMPLICACIONES SOCIOECONÓMICAS DE LAS APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS EN MAÍZ Y TRIGO EN MÉXICO.

Para dilucidar las repercusiones que tendrá la agrobiotecnología es menester ubicar los aspectos específicos de incidencia de la misma y determinar su impacto en la producción, costos, calidad de la producción. Asimismo es importante considerar que sectores productivos son favorecidos por la nueva tecnología.

Existen 3 estratos de productores maiceros: de subsistencia, medios y comerciales. Estos últimos considerados como los de mayor superficie por productor, mayor capacidad económica, aplican los adelantos tecnológicos y explotan terrenos bajo regadío. Es evidente que el impacto que tendrá la biotecnología en cada segmento será diferencial.

De acuerdo a sus intereses, dictados por la lógica de su forma de producción, se pondrá énfasis en X o Y adelanto biotecnológico, o incluso no mostrar interés en los mismos, situación que se puede presentar entre los productores medios y más acentuado entre los de subsistencia, debido a la carencia de recursos económicos.

El estudio de estos aspectos se aborda tomando en cuenta los principales agregados que repercuten en la agricultura: fijación de nitrógeno, resistencia a plagas y enfermedades, resistencia a herbicidas, al estrés (sequía, salinidad, metales pesados, etc.), fitomejoramiento genético tradicional asistido con técnicas biotecnológicas.

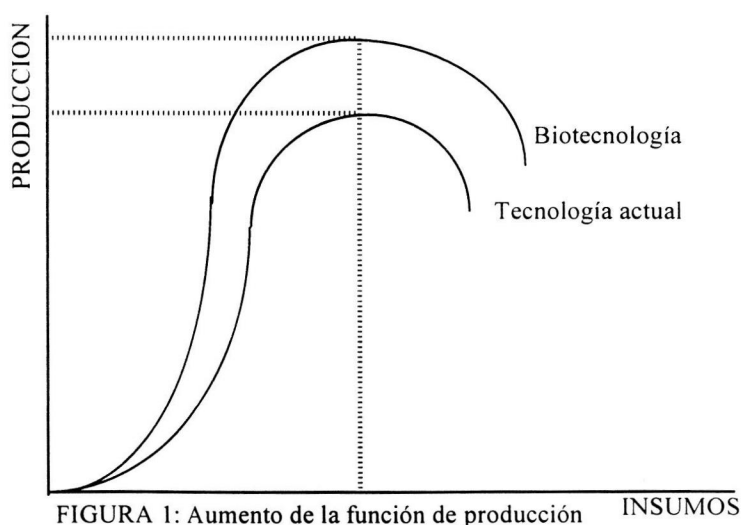


FIGURA 1: Aumento de la función de producción

Fuente: Klein, Mars y Kerr, 1991, pp. 84.

En principio, los efectos que tendrá la biotecnología consistirá en un aumento en la oferta de productos agrícolas, lo que implica que la función de producción manifieste un comportamiento ascendente (véase fig. 1).

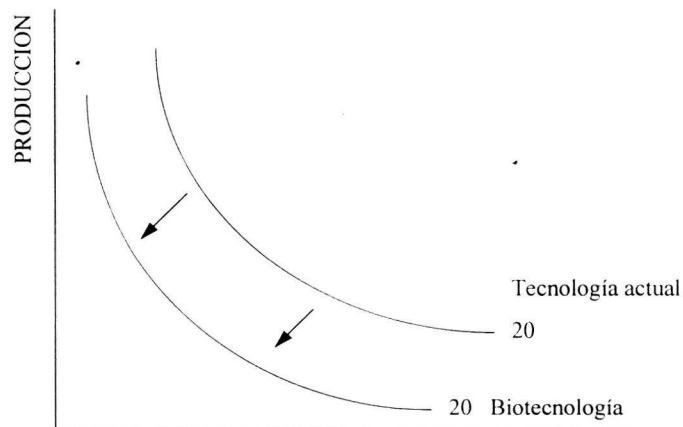


Figura 2: Disminución de insumos manteniendo una producción constante.

Fuente: Klein, Marks y Kerr, 1991, pp. 84.

Asimismo puede resultar que se mantenga el mismo nivel de producción, pero con una importante disminución en el uso de insumos (véase fig. 2.).

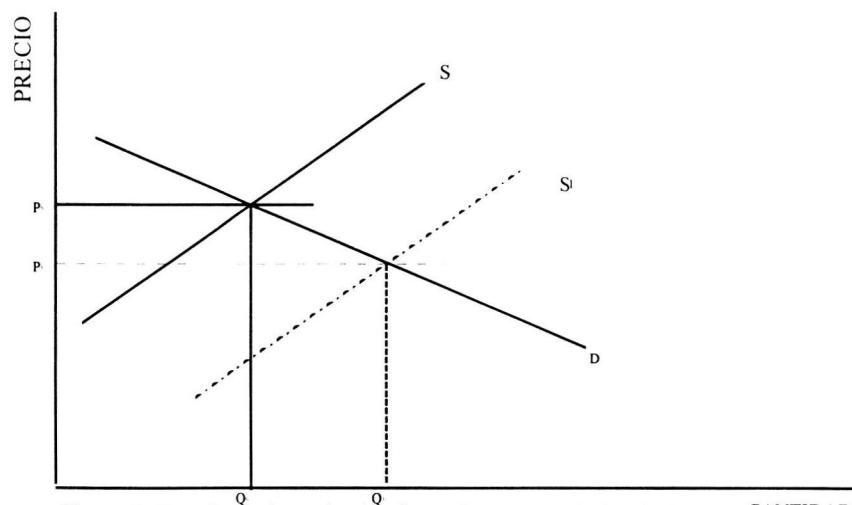


Figura 3: Desplazamiento hacia afuera de la curva de la oferta

Fuente: Klein, Marks y Kerr, 1991, pp.84

A fin de cuentas, lo anterior significa que la curva de la oferta se mueva hacia afuera y hacia abajo en el corto plazo, de S a S^1 , provocando un incremento en la cantidad producida (Q^0 a Q^1) y una disminución en el precio (P^0 a P^1), siempre y cuando la producción sea consumida en el mercado nacional (véase fig. 3.).

Esto significa que los consumidores saldrán beneficiados con el uso de la biotecnología por parte de los productores. En cambio, la determinación del beneficio que pueden recibir los productores estará en función del tipo de elasticidad de la curva de la demanda que tiene su cultivo.

“...Para la mayoría de los productos agrícolas la curva de la demanda a la que se enfrentan los productores es bastante inelástica; por eso es posible que los productores experimenten una disminución de los ingresos totales con un aumento de la producción...” (Klein, Marks y Kerr, 1991, p. 83). Tal es el caso de los granos básicos, fundamentalmente maíz y trigo.

Un estudio elaborado en los Estados Unidos indica que la elasticidad precio de la demanda del maíz para exportación fue de -1.31 y para el mercado interno de -0.70. Por su parte el trigo se comportó con una elasticidad para mercado interno de -0.55 y -1.82 para exportación (Florkowski y Lowel, s/a).

Ahora bien, las posibilidades de incremento de los rendimientos se reportan para diferentes tecnologías, que conforman el esquema agrobiotecnológico en los Estados Unidos.

- Se indica que para maíz en tecnología de simbiosis y alteración de proteína se tendrán cambios negativos (-4 y -2% respectivamente). Lo mismo sucede en trigo, con -2 y -4, respectivamente.

Las tecnologías que incidirán positivamente en el rendimiento del maíz son: resistencia a hongos, con 10%; resistencia a insectos, 10% y reguladores del crecimiento vegetal, con 12%. Para trigo los más importantes son: resistencia a insectos, con 11%; tolerancia a escarcha (frío), 85; resistencia a calor, 85 y resistencia a virus, con 9% (véase cuadro 3.19).

CUADRO 3.19: EUA: EXPECTATIVAS DE CAMBIOS PORCENTUALES EN RENDIMIENTOS POR APLICACIÓN DE AGROBIOTECNOLOGÍAS SELECCIONADAS

Tecnología	Maíz	Trigo
Simbiosis	-4	-2
Nuevas razas de <i>Rizobium</i>	4	0
Alteración de proteína	-3	-4
Resistencia a virus	8	9
Resistencia a bacterias	8	6
Resistencia a hongos	10	7
resistencia a insectos	10	11
Tolerancia a escarcha (frío)	6	8
Tolerancia a herbicidas	4	6
Tolerancia al calor	5	8
Reguladores del crecimiento vegetal	12	5
bacterias que retardan la formación de hielo	5	4

FUENTE: Tabla modificada de Florkowski y Lowell, s/a, p. 4.

De suma importancia reviste tener presente el mercado de los productos biotecnológicos, así como su desarrollo, ya que es el marco general que determina la viabilidad de los productos generados por la nueva tecnología. El comportamiento observado en Estados Unidos, tal como las previsiones, son la base para tener un conocimiento más acorde con la nueva realidad. Por lo anterior se presenta el cuadro 3.20 sobre el mercado de la biotecnología agrícola en Estados Unidos.

CUADRO 3.20: MERCADO TOTAL DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA: INGRESOS PREVISTOS (E.U.A.), 1990-2000.

Año	Ingresos (\$ millón)	Tasa de crecimiento de los ingresos
1990	72.6	-
1991	81.7	12.6
1992	92.8	13.5
1993	107.5	15.9
1994	149.5	39.1
1995	221.9	48.5
1996	344.5	55.2
1997	554.7	61.0
1998	851.4	53.5
1999	1,312.2	54.1
2000	1,829.0	39.4

Tasa de crecimiento anual del periodo (1993-2000): 49.9%

FUENTE: AgBiotech News and Information 1994 Vol. 6 No. 11, p. 249N.

Ahora bien, el mercado de la biotecnología en México se reporta en un estudio realizado por el Centro de Estudios Prospectivos, AC de la Fundación Javier Barros Sierra, (citado por Solleiro y Quintero, 1993) que da una idea clara de las posibilidades que encierra para el país esta tecnología, observándose un crecimiento positivo. El cuadro 3.21 cita tales resultados.

Otra técnica es el cultivo de anteras, con lo cual se obtienen haploides (n), que posteriormente se utilizan para generar rápidamente plantas diploides homocigóticas, útiles para obtener híbridos (Ídem). Al respecto Torres (1991) reporta que con la utilización de esta herramienta se logró producir variedades de alto rendimiento de maíz.

Diversas empresas, diseminadas en varias latitudes del mundo, incluyen dentro de sus programas de investigación al maíz, utilizando algunas de las más prometedoras técnicas de la biotecnología, en la búsqueda de variedades con mejores características de importancia económica. El cuadro 3.10 incluye algunas empresas que trabajan con maíz y las virtudes que pretenden incorporar.

CUADRO 3.10: COMPAÑÍAS QUE REALIZAN INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MAÍZ.

<i>EMPRESA</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
Advanced Genetic Sciences	Resistentes a plagas, resistencia a bajas temperaturas.
Biotechnica International	Fijación de nitrógeno.
Agracetus	Polen de maíz con genes marcadores.
Dekalb-Pfizer Genetics	Semillas de maíz híbrido.
Dekalb	Resistencia al herbicida "Biolophos".
Phytogen	Semillas resistentes a plagas, plaguicidas y sequía
Mycogen	Resistencia a insectos, basado en Bt.
AgrEvo, Dekalb, Northrup King, y otras	Tolerancia a "Glufosinato".
Cyanamid	Tolerancia a herbicidas.
Zeneca	Tolerancia al herbicida "Basta" de Hoechst.
Monsanto	Resistencia a insectos. Resistencia al herbicida "Round-Up".
Ciba	Resistencia al barrenador europeo del maíz.
Calgene, ICI/Biotechnica, Phyto-dinamics	Resistencia al herbicida "Round-Up"

FUENTE: Chemical Week, 27-09-1995, pp. 25-27; Chemical Week, 18-08-1993; Torres, 1991, p. 69; Sondahl y Miller, 1992; Greenpeace México, 1996; Maitland, 1996.

Un estudio (DGSV-SAGAR, agosto de 1995) indica que a nivel mundial se han realizado un total de 1025 ensayos de campo con diversos cultivos, donde el maíz ocupa el 11.7% del total, que corresponde a 120 ensayos. De éstos, el 57.5% corresponde a Norte América (Estados Unidos, Canadá, México); el 29.2% para EU/EFTA (Francia, Bélgica, Reino Unido, Holanda, otros); 12.5% para Centro/Sur América (Argentina, Chile y otros); 0.8% para Este Medio/ África. Cabe mencionar que en el Borde Pacífico (China, Nueva Zelandia, Australia, Japón) no reportan ningún ensayo.

La EPA (Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos) ha expedido un permiso especial para planta transgénica de maíz, cuya cualidad consiste en elaborar sustancias insecticidas. Para lograr lo anterior se le transfirió el gen responsable de la síntesis de la delta endotoxina de *Bacillus thuringiensis* (Bt). Son "...semillas de maíz que contienen el gen CryIA(b) que proporciona resistencia contra el barrenador europeo del maíz y otros lepidópteros (palomillas) plaga..." (Dirección General de Sanidad Vegetal-SAGAR, junio de 1995, pp. 2-3).

En 1988 se otorga la primera patente para maíz con características nuevas: resistencia a herbicidas. Fue desarrollado bajo los auspicios de la American Cyanamid en una empresa biotecnológica de los Estados Unidos (Vega y Trujillo, 1989).

Utilizando transformación balística o revolver génico (desarrollado por Du Pont), se han logrado algunos éxitos. Tal es el caso de la transformación con genes marcadores de polen de maíz realizada por Agracetus. Por su parte Monsanto, en colaboración

con el Servicio de Investigación del USDA, lograron introducir dos genes marcadores. Así mismo, Dekalb creó una planta que presenta resistencia al herbicida Biolophos (Sondahl y Miller, 1992).

El uso de los protoplastos para la transformación genética requiere que la planta responda eficientemente a la regeneración por este medio. En el caso del maíz resultó ser muy efectivo, ya que "...en la actualidad se pueden obtener sin dificultad plantas transgénicas de maíz...mediante la interacción directa de protoplastos y plasmidios". (Cocking, 1989, p. 82)

La OCDE (1993) reporta que a través de cultivo de tejidos se logró crear un maíz altamente productor de triptofano. Esta misma técnica ha sido utilizada para seleccionar plantas con características agrícolas importantes como resistencia a patógenos (*Helminthosporium maydis*). (Quintero, 1993).

Los métodos comúnmente utilizados en la actualidad quedan referidos en el cuadro 3.11 donde, además se indica el tipo de explante que se ha utilizado.

Por tanto, en maíz se han seguido las siguientes líneas de investigación biotecnológica: resistencia a plagas, enfermedades, sequías, fijación de nitrógeno y crecimiento de su valor nutricional. Son desarrolladas tanto por empresas biotecnológicas y/o transnacionales y centros de investigación agrícolas, nacionales y/o internacionales, cuyos esfuerzos pueden verse coronados en corto plazo (Añe, 1994).

**CUADRO 3.11: SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN Y REGENERACIÓN
ACTUALMENTE DISPONIBLES PARA MAÍZ**

Método	Explante
Organogénesis vía callo embriogénesis cultivo de protoplastos Micropropagación cultivo de anteras	Mesocotiledones Embrión inmaduro Protoplasto Meristemo apical anteras

FUENTE: Elaboración propia, en base a información de: Quintero, 1993, pp.
53, 139, 143, 148, 151.

Se pronostica que para el año 2000 se tengan resultados concretos, traducidos en nuevas variedades de la gramínea, cuyas características han sido insertadas a través de alguna técnica de la biorrevolución. Así, "...el desarrollo biotecnológico en el maíz, permite pronosticar para el año 2000 la existencia de variedades de plantas transformadas genéticamente. De acuerdo con los estudios realizados por el Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), en estas nuevas variedades de maíz, se estima que los costos de producción y las pérdidas por cultivos pueden reducirse en un 40 o 50% en ese mismo año, ya que la introducción de genes resistentes a plagas y enfermedades tiende a limitar el uso de fertilizantes, insecticidas y pesticidas que en la actualidad provocan graves problemas ambientales y traen como consecuencia pérdidas considerables en la producción" (Ídem, p. 8).

El cuadro 3.12 indica las contribuciones que tendrán diversas áreas de investigación en el incremento de la producción de maíz, así como el año en que se darán dichas contribuciones.

En estados Unidos se tienen estudios sobre el impacto de las tasas de crecimiento de la producción, así como las previsiones para la producción de maíz en el año 2000 (véase cuadro 3.13)

CUADRO 3.12: CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN AGROBIOTECNOLÓGICA EN EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Área de Investigación	Año de la primera contribución significativa	Contribución al rendimiento para el año 2000 (kg/ha)
Incremento en la eficiencia fotosintética	1995	497.0
Cultivo de células y tejidos	1990	195.0
Reguladores del crecimiento	1994	988.0
Fijación biológica del nitrógeno atmosférico	1996	142.0

FUENTE: Sasson, 1988, p. 62.

CUADRO 3.13: PERSPECTIVAS DEL CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN ESTADOS UNIDOS PARA EL AÑO 2000

Concepto	Unidades	1984	Año 2000		
			sin nueva tecnología	Caso más probable	Nva Tecnol.
Producción	millones de ton.	195	218	236	246
Tasa de crecim	Porcent.		0.7	1.2	1.5

FUENTE: Quintero, 1993.

La investigación realizada por las grandes empresas semilleras o productoras de agroquímicos, que han copado el campo biotecnológico, está centrada en la

generación de variedades de nuevo tipo, cuya característica principal es la tolerancia a herbicidas. El fin es netamente comercial.

Con ello tienen la posibilidad de alargar el tiempo de vida comercial de sus productos químicos, donde invirtieron grandes cantidades de recursos para su creación. En cambio, generar una nueva variedad es mucho más barato que producir otro herbicida, con características superiores.

CUADRO 3.14: RESUMEN DE LAS INICIATIVAS INTERNACIONALES DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA: MAÍZ

Nombre (Institución anfitrión)	Prioridades	Región
Biotecnología agrícola para la productividad sustentable, (Universidad del Estado de Michigan)	Ingeniería genética para resistencia a plagas y enfermedades de cultivos	Internacional
Programa de investigación en ciencias de los vegetales ODA (Universidad de Wales)	Cultivos mejorados genéticamente	Internacional
Reducción de pérdidas en maíz por plagas por mejoramiento de la planta hospedera al conferir resistencia con los genes tóxicos de <i>Bacillus thuringiensis</i> (CIMMYT)	Germoplasma de maíz mejorado con resistencia a insectos	Internacional
Programa regional de biotecnología para América Latina y el Caribe (varias organizaciones)	Colaboración en proyectos de investigación Entrenamiento	América Latina y el Caribe

FUENTE: Cohen y Komen. 1994. p. 259N-260N.

A ello se debe que las transnacionales de agroquímicos, como Monsanto, estén incidiendo fuertemente en las investigaciones biotecnológicas de las universidades y

centros de investigación públicos y, a su vez, creandó sus propios laboratorios, así como adquiriendo acciones o empresas pioneras en biotecnología.

De suma importancia revisten los esfuerzos que se presentan en los programas internacionales y la colaboración entre programas nacionales de países en desarrollo en investigación biotecnológica en maíz. Esto se cita en el cuadro 3.14.

TRIGO

"El trigo es el primero entre los cultivos alimenticios mundiales: el primer producto en el Medio Oriente y África, y un producto secundario y un cultivo comercial importante en América Latina y en partes de Asia y África"(Sociológica, num 16, 1991, p. 240)

Al igual que el maíz este cereal representa un reto para los biotecnólogos, ya que reviste una serie de problemas técnicos para su transformación, situación que a últimas fechas está siendo superado.

Los últimos reportes indican algunos avances significativos en la regeneración y transformación de la gramínea. Para ello se están utilizando: el método de organogénesis vía callo; explante de embrión y semilla; embriogénesis a través de embrión inmaduro. Con el cultivo de anteras se logró obtener callos y plantas haploides; así como por medio del cultivo de tejidos.

Quintero (1993, p. 153) reporta los avances más recientes que se han verificado en trigo, de tal forma que existen altas posibilidades de que en un futuro reciente se puedan obtener variedades mejoradas, con características superiores.

Así:

“-Se han seleccionado plantas resistentes al calor y a la desecación, utilizando benciladamina como agente inductor;

-existen estudios sobre la frecuencia de variación somaclonal en poblaciones de trigo, generadas por cultivo de tejidos;

-se han aislado variedades tolerantes a la congelación por variación somaclonal.”

De suma importancia ha resultado la generación de haploides, cuya duplicación se obtiene por medio del cultivo de polen o de anteras, lográndose la obtención de variedades altamente rendidoras (Torres, 1991).

Se considera que la biotecnología proveerá de poderosas herramientas a los fitomejoradores y, de hecho, actuará como un potencionador de los sistemas tradicionales de mejoramiento genético. Es decir, el fitomejoramiento gana en rapidez y precisión, utilizando el cultivo de tejidos (Torres, 1991).

El uso de RFLP a resultado de suma importancia para tener un mayor conocimiento del genoma del trigo y los mecanismos que rigen el comportamiento de la planta. Por este medio se logró conformar el mapa genético del trigo.

El Chemical Week (27-09-1995) consigna que para el próximo año (1996) se tendrá en el mercado un trigo tolerante a herbicidas. Por su parte, Ciba Seeds, Mycogen, Monsanto y Northrup King investigan sobre resistencia a insectos, buscando la inclusión de la endotoxina del Bt. Se considera su posible introducción al mercado en 1996. Por su parte AgrEvo invierte recursos y tiempo para generar un trigo tolerante al herbicida Liberty. Pronóstica que estará presente en el mercado estadounidense en 1997 (Ídem).

Otros proyectos biotecnológicos son los desarrollados por Agrigenetics en semilla híbrida de trigo; Pioneer Hi-Bred International trabaja en la obtención de semillas de la gramínea por ingeniería genética; Phytogen en semillas resistentes a plagas, plaguicidas y sequía en cereales y Advanced Genetic Sciencies investiga en semillas de cereales resistentes a plagas y a bajas temperaturas (Ídem).

Monsanto investiga resistencia a sequía en trigo y de acuerdo a sus planes, pronostica que para el año 2002 tendrá en el mercado una variedad con dicha característica (OCDE, 1995).

Bajaj (1989) reporta el estudio de la inducción de variabilidad genética en trigo, utilizando cultivo *in vitro*, observándose variabilidad somaclonal y gametoclinal, la

cual ha resultado heredable. En dichos trabajos se han logrado plantas con espigas más grandes y mayor rendimiento.

“Las plantas completas a partir de embriones cigotas o de polen de trigo...que han sido congelados (-196°C) establecen el uso de la criopreservación como medio para conservar las variantes somaclonales y gametoclonales. Es muy importante que se incorpore la variabilidad generada *in vitro* en los programas de mejoramiento de trigo,...pues podría permitir el rápido lanzamiento de variedades mejoradas.” (Bajaj, 1989, p. 203).

Se han seleccionado líneas de trigo que presentan resistencia a los herbicidas Imidazolinone y sulfonylurea. Para el primer caso se obtuvo la patente en 1988 y en base a un programa de investigación se logró incorporar dicha cualidad en 100 líneas de trigo. Tal programa fue realizado por Pioneer Hi-Bred International, Inc., una de las más grandes compañías semilleras del mundo.

Un estudio del Banco Mundial (1991) indica que en trigo la problemática más común son enfermedades fungosas y virosas, siendo potencialmente posible su solución a través de ingeniería genética. Así mismo menciona que las nuevas tecnologías disponibles para trigo son: nuevos diagnósticos (basados en anticuerpos monoclonales o sondas de ácido nucleico), sistemas de rápida propagación (que permiten la multiplicación de nuevas variedades), y en menor medida sistemas de transformación y sistemas de regeneración. Ellos tendrán un impacto significativo a largo plazo (más de 10 años).

Los resultados obtenidos a nivel de callos presentan una eficiencia que es suficiente para ser utilizados para pruebas experimentales en genética de células somáticas. En el cuadro 3.15 se indican las especies de trigo que fueron transformadas por medio de la transferencia de ADN extraño y su respectivo vector

CUADRO 3.15: TRIGO: TRANSFERENCIA DE ADN, DEPENDIENDO DEL VECTOR^a

Vector	Especie (fuente)
Transferencia de ADN a protoplastos	<i>Triticum monococcum</i> (Lörz et al. 1985)
Microinyección de ADN en embriones	<i>Triticum aestivum</i> (Poltrykus, comunicación personal)
Mediante transformación de polen	<i>Triticum aestivum</i> (Hess 1988, Picard et al. 1988)
Incorporación de ADN a embriones	<i>Triticum aestivum</i> (Töpfer 1987)
Agrobacterium como vector	<i>Triticum aestivum</i> (Dale et al. 1988)
Virus como vector	<i>Triticum monococcum</i> (Matzeit 1987)

FUENTE: Mujeeb-Kazi, a., and L. A. Sitch, eds. 1989. p. 97.

^a Esta tabla resumen es una tentativa sobre la transformación de los cultivos. Sin embargo la transformación e integración estable del gen extraño no ha sido confirmado en todos los casos.

Se tiene conocimiento de los avances que se han logrado en estudios realizados por centros internacionales agrupados en CGIAR, que trabajan fundamentalmente en los países en desarrollo, buscando afanosamente obtener variedades que sean propicias para desarrollarse en las condiciones propias de estos países. También hacen grandes esfuerzos por obtener una idea lo más realista posible de la riqueza en germoplasma de los países del tercer mundo.

Por ello estos centros internacionales de investigación utilizan en sus proyectos de investigación las técnicas y procesos biotecnológicos, con la finalidad de contribuir en el aumento de la eficiencia de los procedimientos convencionales del fitomejoramiento. El cuadro 3.16 es una muestra de este trabajo.

CUADRO 3.16: APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN TRIGO, REALIZADA POR CENTROS CGIAR

Actividad en biotecnología	Componentes convencionales
Electroforesis Provee marcadores bioquímicos para germoplasma extranjero en cruces amplias.	Germoplasma
Anticuerpos monoclonales Detección del virus del enanismo amarillo de la cebada.	Experimentación
Variación somaclonal Selección de somaclones para trigo de primavera con tolerancia a salinidad.	Mejoramiento
Regeneración y selección somaclonal en trigos duros y blandos (panificación).	Mejoramiento
Cultivo de tejidos para introgresión de genes extranjeros Uso de <i>Aegilops</i> como fuente de resistencia al carbón parcial.	Germoplasma
Uso de <i>Agropyron</i> para tolerancia a <i>Helminthosporium</i> .	Germoplasma
Trigo cruzado con líneas que contengan cromosomas de centeno.	Germoplasma

Fuente: Cohen, 1989. p. 298.

De esta forma se cuenta con importantes proyectos biotecnológicos desarrollados en prácticamente todos los continentes, unos con más, otros con menos recursos, pero al fin de cuenta son iniciativas que tendrán repercusiones en el futuro agrícola de la región donde se desarrollen y, porque no, en la agricultura mundial.

El próximo milenio se vaticina como el siglo del conocimiento y los países se preparan para actuar bajo estas nuevas condiciones de producción.

A pesar de las dificultades que existen para la transformación y regeneración de una planta transgénica, se han logrado importantes avances que indican que en un futuro, a mediano o largo plazo, se tendrá el conocimiento y las herramientas científicas que harán posible contar con plantas de trigo biogeneradas, con características superiores.

3.2.2. INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO DE MAÍZ Y TRIGO

En México las investigaciones biotecnológicas en maíz y trigo son muy incipientes, encontrándose la misma problemática que se analizó en el apartado sobre las investigaciones que realizan al respecto los países desarrollados.

Por otra parte, los recursos que se destinan a esta actividad no son abundantes, los cuales, en su mayoría, salen del erario público, siendo exigua la participación de la iniciativa privada mexicana en proyectos biotecnológicos en estos granos.

Tres centros de investigación se destacan en este tipo de investigación en maíz y trigo. Ellos son: IBT, el CINVESTAV-Irapuato y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Este último de índole internacional, apoyado por diversos países y fundaciones Internacionales.

Existen otros centros y universidades que dedican esfuerzos y recursos a la investigación biotecnológica en maíz y trigo, Sepulveda (1992, pp. 85-86) menciona que "...muy pocas instituciones trabajan con granos básicos; el grueso de los proyectos agrícolas son para fruticultura, horticultura y algunos agroindustriales como caña, remolacha; henequén, jojoba, barbasco y palma aceitera..."

Sin embargo los pocos centros y/o instituciones educativas que llevan a cabo tales investigaciones, han tenido la claridad suficiente para determinar que el estudio de los principales granos básicos de la población mexicana es prioritario. Así mismo es importante señalar que las tendencias de investigación en estas gramíneas no siguen los patrones observados en los países desarrollados, sino más bien se trata de incidir en cuestiones como biofertilización, fijación biológica del nitrógeno, mejoramiento genético asistido con RFLP, resistencia a plagas, enfermedades y estrés (sequía, salinidad, metales pesados, etc.).

Casas (1992) registra en su estudio realizada entre 1986 y 1987, con un universo de 38 unidades de investigación, que 10 unidades que corresponden al 26%, realizan mejoramiento genético utilizando alguna técnica biotecnológica. De esas 10 existen 4 cuya especie investigada es el trigo y/o maíz. De estas últimas, 3 estudian el maíz (Laboratorio de Cultivos de Tejidos Vegetales, Proyecto Fito-INIA, Universidad Autónoma Chapingo (F-INIA-UACH); Laboratorio de Cultivo de Tejidos, Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN); Laboratorio de Fertilización Cruzada, Programa del Maíz, Centro Internacional de

Mejoramiento de Maíz y Trigo PM-CIMMYT)) y el trigo sólo es estudiado en el CIMMYT (Laboratorio de Fertilización Cruzada, Programa del Trigo).

- Las técnicas utilizadas son variadas. En el proyecto Fito-INIA-UACH se aplica la variación somaclonal y selección *in vitro* y el fin es obtener un maíz resistente. En la UAAAN se utiliza la selección *in vitro*, con el fin de obtener una gramínea resistente a la sequía. Por su parte el CIMMYT investiga por medio de rescate de embriones de maíz y para el caso del trigo también se aplica la selección *in vitro*, con el objetivo de generar un trigo con resistencia a enfermedades, tolerancia al estrés, así como tolerancia al aluminio.

De suma importancia es la investigación básica para conocer las bases que rigen los diversos mecanismos de la herencia, con el fin de tener mayor seguridad en los pasos a seguir en las investigaciones. Se dedican a este tipo de estudios 8 unidades, que corresponde al 21% del total (38 unidades). De éstas, 3 realizan investigaciones en maíz, con las siguientes líneas de investigación: estudios morfológicos, fisiológicos y genéticos *in vitro*, así como estudios bioquímicos (Facultad de Química-UNAM, Centro de Genética y el Centro de Botánica del Colegio de Posgraduados). No se reporta investigación básica en trigo.

Los bioinsecticidas son estudiados por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), el IPN, UNAM y el Instituto Tecnológico de Durango (ITD) que tienen proyectos de investigación sobre cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* y sus efectos como insecticidas en lepidópteros, entre ellos el barrenador del maíz (*Spodoptera*

frujiperda). Así mismo se busca aislar las toxinas biocidas que resulten con mayor efectividad en el control de plagas, con el fin de generar insecticidas industriales.

Estos proyectos son financiados por Naciones Unidas, Banco Mundial y el Fondo

- Especial de la Organización Mundial de la Salud (Sepulveda, 1992).

Los principales proyectos biotecnológicos desarrollados en México en estas gramíneas se presentan en los cuadros 3.17 y 3.18.

CUADRO 3.17: PROYECTOS DE BIOTECNOLOGÍA EN MAÍZ Y TRIGO EN MÉXICO

Institución	Especie	Objetivos	Áreas
UACH	Maíz	Selección clonal de plantas tolerantes a sequía	Fitomejoramiento
CIMMYT	Maíz	Obtención de híbridos y preservación de germoplasma	Fitomejoramiento
	Maíz	Tolerancia a sequía; componentes de rendimiento	Fitomejoramiento
	Trigo y maíz	Obtención de resistencia a plagas y enfermedades	Fitomejoramiento
CINVESTAV-IRAPUATO	Maíz	Obtención de resistencia a plagas y enfermedades	Fitomejoramiento
Fac. Química (UNAM)	Maíz	Resistencia a sequía	Bioquímica y mejoramiento
Inst. Tec. Dgo.	Maíz	Producción de insecticida, basado en <i>Bacillus thuringiensis</i>	Propagación en fermentadores
UANL	Maíz	Bioinsecticidas contra lepidópteros (<i>Bacillus thuringiensis</i> .)	Microbiología

FUENTE: Sepulveda; 1992.

**CUADRO 3.18: PRINCIPALES PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN
BIOTECNOLÓGICA EN MAÍZ EN MÉXICO**

Institución	Actividades
Dpto. de Bioquímica-Fac. de Química (UNAM)	1. Estudios básicos en germinación de embriones. 2. Efectos de 2, 4-D y Mecarprop en cultivo de embriones. 2. Metabolismo del nitrógeno.
Laboratorio de biotecnología del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados	1. Morfogénesis: Embriogénesis y organogénesis. 2. Variación somaclonal. 3. Regulación <i>in vitro</i> de crecimiento y desarrollo de estructuras reproductivas.
Dpto. de Bioquímica de la Fac. de Química y laboratorio de Biotecnología del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados	1. Cultivo <i>in vitro</i> de embriones maduros e inmaduros. 2. Cultivo de células en suspensión para inducir embriogénesis somática. 3. Estudios de marcadores bioquímicos durante el proceso de embriogénesis.
CIMMYT	1. Uso de RFLP's y sondas de ADN para incrementar la eficiencia de los programas de mejoramiento.

FUENTE: Matus, Puente y López, 1990. p. 77.

“El Centro de Investigaciones Avanzadas (CINVESTAV) del IPN en Irapuato, con mucho la institución líder, trabaja un proyecto conjunto con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con *B. thuringiensis* para clonarlo al maíz como insecticida propio” (Sepulveda, 1992, p. 88). El financiamiento para esta investigación se obtiene de la ONU, AID, OMS y la Fundación Rockefeller. Las expectativas que se esperan es tener resultados en aproximadamente cuatro años, por lo que se tenía previsto que para 1995 se tuvieran en las manos reportes concluyentes del proyecto. A la fecha no se tiene conocimiento del estado que guarda dicha investigación.

Una breve sinopsis de la investigación biotecnológica en gramíneas (maíz y trigo) que realiza el CINVESTAV-Irapuato indica los siguiente trabajos:

- • Factores de resistencia al ataque de insectos y hongos en plantas, principalmente maíz. Se investiga la presencia de inhibidores de enzimas provenientes de insectos y hongos de almacén con el fin de obtener resistencia natural.
- Obtención de plantas con proteínas de alta calidad nutricional. Se han aislado y caracterizado algunas de las proteínas de reserva de amaranto, ricas en lisina y aminoácidos azufrados. Se busca clonar los genes responsables a plantas como maíz y frijol.
- Utilización de marcadores moleculares para evaluar el papel de la heterocigosis en el rendimiento de variedades de maíz. Se estudia Polimorfismos en la Longitud de Fragmentos de Restricción (RFLP's) en 80 secuencias de copia única distribuidas a lo largo del genoma del maíz. Esto permitirá estimar el nivel de heterocigosis en variedades muy rendidoras y poco rendidoras para entonces evaluar la relación heterocigosis y rendimiento.
- Uso de mapas genéticos molecular y marcadores para el mejoramiento de maíz tropical (Cinvestav-Unidad Irapuato, 1989).

Una nota periodística (Guzmán, 1996) informa de importante proyecto para producir bioinsecticidas a partir de la bacteria *Bacillus thuringiensis* y los hongos *Beauveria bassiana*, *Matarrisium* y *Pacielomyces*, enemigos naturales de plagas de maíz y de otros cultivos; así como la lombriz *Steinernema feltiade*.

La producción de bioinsecticidas basados en bacterias y hongos, los cuales ya están en el mercado, producidos comercialmente por la empresa Agrobionsa.

En su desarrollo participan 14 investigadores de varios centros y/o universidades, tales como: CINVESTAV, Instituto Tecnológico de Celaya, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba y el CINVESTAV-Irapuato.

Otras instituciones realizan importantes trabajos en maíz. En el 1^{er} Congreso Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal, realizado el 16-18 de marzo de 1994, en la Facultad de estudios Superiores de Cuautitlan, UNAM (FES-Cuautitlan) se presentaron trabajos del CIMMYT y el Departamento de Fitotecnia de la UACH.

El primero investiga sobre regeneración de plantas de embriones inmaduros de variedades mexicanas de maíz S-2 y V-22. Estas plantas regeneradas tienen la posibilidad de ser útiles en los programas de mejoramiento genético y en experimentos de transformación. La segunda institución realiza una serie de evaluaciones preliminares de los tipos o medios de cultivo y genotipos de maíz, con la finalidad de obtener haploides. También estudian el cultivo de anteras.

Con anterioridad se mencionó que la regeneración de maíz es muy difícil. Sin embargo se ha descubierto que algunos genotipos tienen la cualidad de responder favorablemente a esta técnica. Por ello el CIMMYT, en colaboración con el Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), se han dado a la tarea de

“...identificar las líneas sobresalientes y las variedades de polinización libre de valles altos, que tengan esta capacidad de regenerar *in vitro* plántulas sanas. Fruto de esta colaboración ha sido la identificación de dos sintéticos de Valles Altos con esta capacidad” (Azpiroz, 1993, p. 173).

El CIMMYT y el CINVESTAV-Irapuato tienen planes de explorar las alternativas que existen para la introducción en el genoma del maíz los genes responsables de la producción de la endotoxina de *Bt*, con el fin de conferirle resistencia a la depredación de los insectos (Ídem).

Estas mismas instituciones están buscando identificar, a través de RFLP, cuales Loci de Caracteres Cuantitativos (QTL's) tienen que ver con la tolerancia a sequía en maíz. En el CIMMYT la investigación está bajo la responsabilidad del Dr. Hoisington y en el CINVESTAV-Irapuato por la Dra. June Simpson (Guillen, 1993).

El informe 1992 del IBT-UNAM indica que se tiene una línea de investigación en biología molecular y Biotecnología de plantas con énfasis en el estrés en las plantas (sequía, calor, frío, salinidad). Se estudian los llamados vegetales que “resucitan”. Es decir, aquellas plantas que tienen la propiedad de rehidratarse después de sufrir una severa deshidratación. Para ello se investiga a *Cratogeomys plantagineum*, originaria de África y *Selaginella lepidophylla*, de México.

En esta investigación se trata de identificar los genes responsables de conferir tal característica y en el futuro su posible inserción en plantas de interés económico,

como el maíz, de tal forma que tendrían resistencia a una situación de déficit hídrico. Se considera que "...en el complejo proceso de resistencia a la sequía participan posiblemente de diez a veinte genes..." (López Suares, 1996, p. 3).

La importancia del estudio radica en que México es un país que se caracteriza por tener en gran parte de su territorio, condiciones de inadecuado nivel de precipitación pluvial para la producción, aunado al hecho que aproximadamente el 70% de la producción es de temporal, por lo que los rendimientos de los cultivos están sujetos a la existencia de un buen temporal (Ibídem.).

"No es relevante convertir una planta de cebada en un cactus, ni hacer del maíz una planta de resurrección. Pero si tendrá un gran impacto social cuando por medio de la biotecnología se logre que el maíz y otros comestibles como el trigo, el frijol y el arroz, incrementen su resistencia a la sequía, pues dependerán menos del temporal,...Esta es una alternativa que ahorraría enormes costos y que podría extender las zonas de cultivo a regiones áridas y semiáridas..."(Ibídem, p. 3).

Otra línea de investigación que se tiene en el Instituto es sobre genética y biología molecular de la interacción microorganismo-planta, con la finalidad de esclarecer los mecanismos que se presentan entre las plantas y microorganismos fijadores de nitrógeno. Es un estudio a nivel molecular. Entre las plantas estudiadas se encuentra el maíz, sobre el cual se investiga la genética y fisiología de la simbiosis asociativa entre bacterias fijadoras de nitrógeno, como el *Azospirillum brasilensis* y la planta de

maíz, para evaluar su contribución o potencial para la productividad vegetal (IBT-UNAM, 1992).

- La fijación biológica de nitrógeno es investigada por un total de 22 instituciones, abarcando aspectos de investigación básica, biología molecular, identificación de microorganismos, cuestiones de ecología, biología de la simbiosis, etc. (Casas, 1992).

Esta temática también ha sido estudiado por un grupo de Microbiología del Suelo del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de la Universidad Autónoma de Puebla, que han registrado ciertos avances en la inoculación de semilla de maíz y trigo, proceso que le denomina biofertilización, vía bacterización de semilla. Esta se ha aplicado en algunas regiones de los estados de Veracruz, Tlaxcala, Puebla, Morelos y Guerrero (Cárcaño, 1993).

El uso de *Azospirillum* como biofertilizante ha sido validado a nivel de laboratorio y en campo. Para el primer caso "...Paredes Cardona y col. demuestran incrementos significativos en el peso seco tanto de follaje como de la raíz de plantas de maíz, al inocular la planta en macetas, reportando incrementos con respecto a las plantas testigo, entre 22 y 118% de masa radical, la parte aérea entre 10 y 91% y el contenido de nitrógeno total hasta 101%, así como en la absorción de minerales y en el rendimiento de grano" (Cárcaño, 1993, p. 37).

El CIMMYT ha desarrollado una labor de fitomejoramiento en maíz y trigo durante décadas. A últimas fechas su trabajo se potencia con la utilización de las innovadoras tecnologías que conforman la agrobiotecnología. El trabajo formal se inicia con la construcción y equipamiento de un laboratorio de biotecnología en 1988. Desde 1986 el Centro mostró el interés que le despertó al establecer una Red de Colaboración Internacional en Biotecnología de Maíz, que involucraría a los institutos del sector público y privado, tanto de los países en vías de desarrollo como de los industrializados (Sociológica, 1991).

Dentro de su programa de cruces amplios en maíz y trigo, que consiste en realizar cruzas con los parientes silvestres, que presentan resistencia a insectos y enfermedades, así como tolerancia al estrés (sequía, se realizan cruzas entre el maíz y *Tripsacum*.

El uso de la técnica no había reportado resultados contundentes, más bien pobres, debido a problemas que tiene que ver con barreras de cruzamiento y desarrollo embrionario raquítico. Dicha situación empieza a ser superada utilizando técnicas biotecnológicas.

En la búsqueda de mejorar las características del maíz se realizan innumerables experimentos e investigaciones, de tal forma que "...después de dos años de explorar incesantemente el ADN de plantas de maíz tropical, los genetistas moleculares del CIMMYT han localizado varias regiones cromosómicas que controlan la resistencia al barrenador del Suroeste, un insecto extremadamente nocivo para el maíz, y en el

proceso han generado el primer mapa genético del maíz tropical. Este es un paso crítico hacia la realización del sueño dorado de los genetistas de efectuar lo que se podría llamar “fitomejoramiento molecular”, y de hacer que el probado, pero tardado, proceso fitotécnico tradicional sea más eficiente y menos costoso” (Aguilar, 1994, p. 35).

Respecto al trigo se sigue la misma metodología (cruzas amplias). Después de identificar las proporciones de cromosomas que contienen la información de interés. Estas son transferidas al material genético del trigo. De acuerdo con el Dr. Mujeeb, aproximadamente el 50% del germoplasma del cereal del CIMMYT posee las modificaciones genéticas que le han introducido (Tamayo, 1944).

El INIFAP es el principal centro de investigación, a nivel nacional, de los aspectos agropecuarios. Incorpora a sus programas de investigación las tecnologías de la biotecnología. En 1990 el CIFAP-Mex., abre dos líneas de trabajo:

- 1) Cultivo *in vitro* de órganos y tejidos vegetales;
- 2) marcadores genéticos moleculares.

Para el caso de cultivo *in vitro* se ha logrado poner a disposición del fitomejorador metodologías para el cultivo *in vitro* de embriones inmaduros de maíz (Azpiroz, Guillen, Montero, Luna y Martínez; 1991).

Los estudios con marcadores genéticos moleculares, utilizando RFLP's, lo realizan en colaboración con el CIMMYT, abarcando dos líneas de investigación:

1) Caracterización molecular de material genético;

2) evaluación genética de líneas de maíz.

- La caracterización se realiza con la finalidad de determinar pureza varietal de los genotipos de maíz que se utilizan en los programas de mejoramiento genético a nivel nacional y tener seguridad en la calidad de la semilla que se utilice en el proceso productivo. También se hace para identificar líneas y variedades para proteger los derechos de patente (Ibídem).

La Universidad Autónoma Chapingo (UACH) logró, dentro de su programa de biotecnología del Departamento de Fitotecnia, obtener embriones androgenéticos en maíz (Idem).

A la fecha no ha salido al mercado una planta transgénica de maíz o trigo generada y producida en México. Los trabajos al respecto están a nivel de laboratorio. Los mayores avances se observan en biofertilización y el uso de algunas técnicas biotecnológicas, como RFLP's, cultivo *in vitro* de embriones inmaduros, variación somaclonal, con el fin de apoyar y acelerar el proceso de fitomejoramiento tradicional. Esa es la línea que siguen el CIMMYT e INIFAP y un poco el CINVESTAV.

Sin embargo este último pone más énfasis en estudios básicos y explora las posibilidades de transformar y crear una planta transgénica de maíz o trigo, que posea

las cualidades que son de interés para el agricultor mexicano. Lo mismo sucede en el IBT-UNAM.

- En suma, la investigación agrobiotecnológica en maíz y trigo no ha logrado obtener resultados concluyentes a nivel comercial, existiendo avances en laboratorio. La tendencia que sigue la investigación es buscar la interacción entre biotecnología y mejoramiento tradicional, con la finalidad de lograr lo que se ha denominado como “fitomejoramiento molecular” (Aguilar, 1994). Esta posibilidad que esta siendo explorada implica que los resultados de los fitomejoradores sean más rápidos y menos costosos.

Es necesario mencionar que importantes transnacionales han generado en sus laboratorios ubicados en los países industrializados, plantas transgénicas de maíz y trigo con resistencia a herbicidas, que en dado momento llegarán a estar presentes en el mercado nacional de semillas.

Du Pont pone a disposición de los industriales mexicanos un grano de maíz de inmejorable calidad para consumo animal: las variedades Optimum 1 y 2. Fueron generados por procesos biotecnológicos que posibilitaron la introducción de genes de otras variedades, confiriéndole la característica de alto contenido de aceite, pasando de 3.5 del maíz común a 5.7 y 8.7, respectivamente (Guadarrama, 1995).

La compañía planeó para 1995 exportar 80 mil toneladas a México, que le representaría ventas por 20 millones de dólares, que rebasa en más del doble las

ventas registradas en 1994, año en que se facturaron ventas por 9 millones de dólares (Ibídem).

El Grupo Pulsar, dueño de Agroindustrias La Moderna, adquirió la empresa Asgrow Seed Co., una de las principales semilleras del mundo, que incluye dentro de su estrategia productiva a la agrobiotecnología, donde tiene importantes proyectos. Posteriormente adquieren a Petoseed, creando una gran empresa que pretende ubicarse en la vanguardia de los negocios del sector agrícola.

De acuerdo con su estrategia se construyeron dos Centros Internacionales de Investigación y Capacitación Agropecuaria en Chiapas y Nayarit, donde se llevan a cabo las investigaciones agrobiotecnológicas de la empresa. Sus funcionarios mencionan que gracias a su utilización se ha logrado que el rendimiento en maíz se haya incrementado de 2 ton a 8 ton/ha (Soto, 1995).

3.2.3. IMPLICACIONES SOCIOECONÓMICAS DE LAS APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS EN MAÍZ Y TRIGO EN MÉXICO.

Para dilucidar las repercusiones que tendrá la agrobiotecnología es menester ubicar los aspectos específicos de incidencia de la misma y determinar su impacto en la producción, costos, calidad de la producción. Asimismo es importante considerar que sectores productivos son favorecidos por la nueva tecnología.

Existen 3 estratos de productores maiceros: de subsistencia, medios y comerciales. Estos últimos considerados como los de mayor superficie por productor, mayor capacidad económica, aplican los adelantos tecnológicos y explotan terrenos bajo regadío. Es evidente que el impacto que tendrá la biotecnología en cada segmento será diferencial.

De acuerdo a sus intereses, dictados por la lógica de su forma de producción, se pondrá énfasis en X o Y adelanto biotecnológico, o incluso no mostrar interés en los mismos, situación que se puede presentar entre los productores medios y más acentuado entre los de subsistencia, debido a la carencia de recursos económicos.

El estudio de estos aspectos se aborda tomando en cuenta los principales agregados que repercuten en la agricultura: fijación de nitrógeno, resistencia a plagas y enfermedades, resistencia a herbicidas, al estrés (sequía, salinidad, metales pesados, etc.), fitomejoramiento genético tradicional asistido con técnicas biotecnológicas.

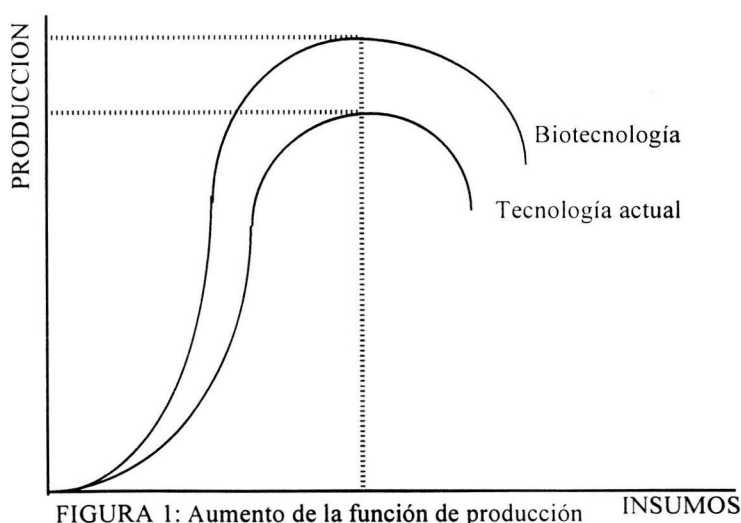


FIGURA 1: Aumento de la función de producción

Fuente: Klein, Mars y Kerr, 1991, pp. 84.

En principio, los efectos que tendrá la biotecnología consistirá en un aumento en la oferta de productos agrícolas, lo que implica que la función de producción manifieste un comportamiento ascendente (véase fig. 1).

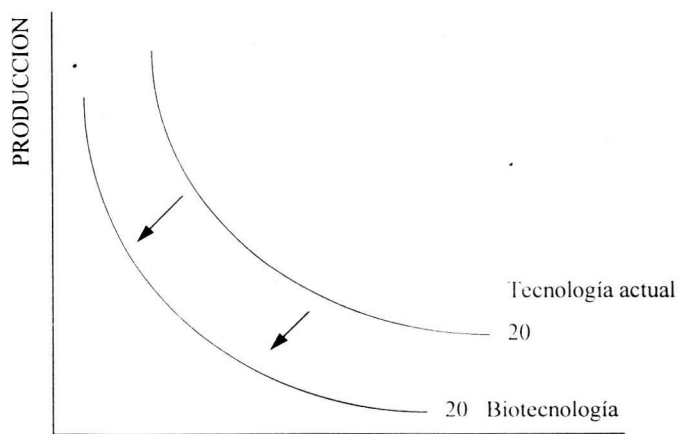


Figura 2: Disminución de insumos manteniendo una producción constante.

Fuente: Klein, Marks y Kerr, 1991, pp. 84.

Asimismo puede resultar que se mantenga el mismo nivel de producción, pero con una importante disminución en el uso de insumos (véase fig. 2.).

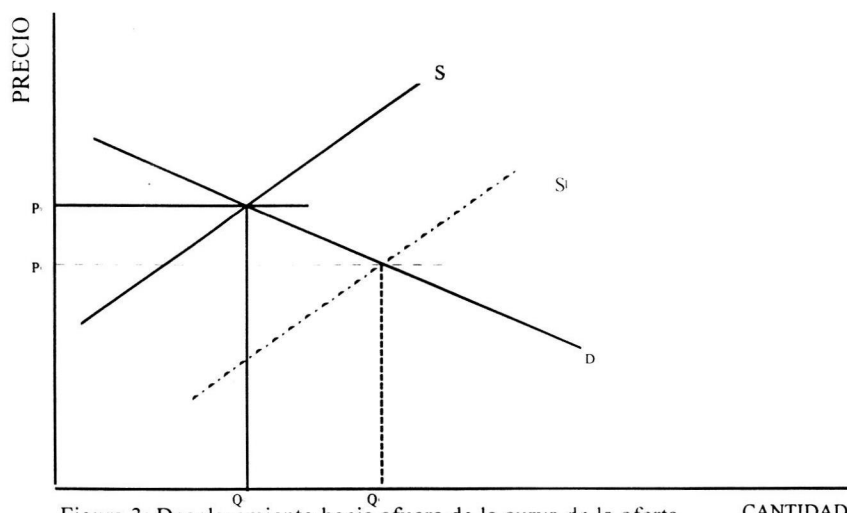


Figura 3: Desplazamiento hacia afuera de la curva de la oferta

Fuente: Klein, Marks y Kerr, 1991, pp.84

A fin de cuentas, lo anterior significa que la curva de la oferta se mueva hacia afuera y hacia abajo en el corto plazo, de S a S^1 , provocando un incremento en la cantidad producida (Q^0 a Q^1) y una disminución en el precio (P^0 a P^1), siempre y cuando la producción sea consumida en el mercado nacional (véase fig. 3.).

Esto significa que los consumidores saldrán beneficiados con el uso de la biotecnología por parte de los productores. En cambio, la determinación del beneficio que pueden recibir los productores estará en función del tipo de elasticidad de la curva de la demanda que tiene su cultivo.

“...Para la mayoría de los productos agrícolas la curva de la demanda a la que se enfrentan los productores es bastante inelástica; por eso es posible que los productores experimenten una disminución de los ingresos totales con un aumento de la producción...” (Klein, Marks y Kerr, 1991, p. 83). Tal es el caso de los granos básicos, fundamentalmente maíz y trigo.

Un estudio elaborado en los Estados Unidos indica que la elasticidad precio de la demanda del maíz para exportación fue de -1.31 y para el mercado interno de -0.70. Por su parte el trigo se comportó con una elasticidad para mercado interno de -0.55 y -1.82 para exportación (Florkowski y Lowel, s/a).

Ahora bien, las posibilidades de incremento de los rendimientos se reportan para diferentes tecnologías, que conforman el esquema agrobiotecnológico en los Estados Unidos.

Se indica que para maíz en tecnología de simbiosis y alteración de proteína se tendrán cambios negativos (-4 y -2% respectivamente). Lo mismo sucede en trigo, con -2 y -4, respectivamente.

Las tecnologías que incidirán positivamente en el rendimiento del maíz son: resistencia a hongos, con 10%; resistencia a insectos, 10% y reguladores del crecimiento vegetal, con 12%. Para trigo los más importantes son: resistencia a insectos, con 11%; tolerancia a escarcha (frío), 85; resistencia a calor, 85 y resistencia a virus, con 9% (véase cuadro 3.19).

CUADRO 3.19: EUA: EXPECTATIVAS DE CAMBIOS PORCENTUALES EN RENDIMIENTOS POR APLICACIÓN DE AGROBIOTECNOLOGÍAS SELECCIONADAS

Tecnología	Maíz	Trigo
Simbiosis	-4	-2
Nuevas razas de <i>Rizobium</i>	4	0
Alteración de proteína	-3	-4
Resistencia a virus	8	9
Resistencia a bacterias	8	6
Resistencia a hongos	10	7
resistencia a insectos	10	11
Tolerancia a escarcha (frío)	6	8
Tolerancia a herbicidas	4	6
Tolerancia al calor	5	8
Reguladores del crecimiento vegetal	12	5
bacterias que retardan la formación de hielo	5	4

FUENTE: Tabla modificada de Florkowski y Lowell, s/a, p. 4.

De suma importancia reviste tener presente el mercado de los productos biotecnológicos, así como su desarrollo, ya que es el marco general que determina la viabilidad de los productos generados por la nueva tecnología. El comportamiento observado en Estados Unidos, tal como las previsiones, son la base para tener un conocimiento más acorde con la nueva realidad. Por lo anterior se presenta el cuadro 3.20 sobre el mercado de la biotecnología agrícola en Estados Unidos.

CUADRO 3.20: MERCADO TOTAL DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA: INGRESOS PREVISTOS (E.U.A.), 1990-2000.

Año	Ingresos (\$ millón)	Tasa de crecimiento de los ingresos
1990	72.6	-
1991	81.7	12.6
1992	92.8	13.5
1993	107.5	15.9
1994	149.5	39.1
1995	221.9	48.5
1996	344.5	55.2
1997	554.7	61.0
1998	851.4	53.5
1999	1,312.2	54.1
2000	1,829.0	39.4

Tasa de crecimiento anual del periodo (1993-2000): 49.9%

FUENTE: AgBiotech News and Information 1994 Vol. 6 No. 11, p. 249N.

Ahora bien, el mercado de la biotecnología en México se reporta en un estudio realizado por el Centro de Estudios Prospectivos, AC de la Fundación Javier Barros Sierra, (citado por Solleiro y Quintero, 1993) que da una idea clara de las posibilidades que encierra para el país esta tecnología, observándose un crecimiento positivo. El cuadro 3.21 cita tales resultados.

CUADRO 3.21: MÉXICO: VALOR DEL MERCADO GLOBAL DE LA BIOTECNOLOGÍA**

Año	Miles de millones de pesos de 1980	Tasa media de crecimiento anual	Millones de dólares	Participación en el valor del mercado mundial ⁽¹⁾ (%)
1950*	34.4		265.1	
1960*	31.7	-0.8 (1950-1960)	353.8	
1970*	63.4	7.2 (1960-1970)	997.7	
1980*	99.4	4.6 (1970-1980)	4,276.4	6.31
1985*	108.0	1.7 (1980-1985)	3,426.7	
1990	94.2	-2.7 (1985-1990)	2,972.6	2.28
1995	100.0	1.2 (1990-1995)	3,502.3	
2000	106.3	1.2 (1995-2000)	4,079.3	6.29
2005	112.4	1.1 (2000-2005)	4,675.2	
2010	119.2	1.2 (2005-2010)	5,283.0	

*Cifras estimadas con datos históricos

**Cifras preliminares

(1) Se calcularon con base a las estimaciones realizadas por el SRI International para los años 1980 y 1990 (67.765 y 130.185 miles de millones de dólares respectivamente) y por T. A. Sheets para el año 2000 (64.8 mil millones de dólares).

FUENTE: Centro de Estudios Prospectivos. AC de la Fundación Javier Barros Sierra, AC, citado por Solleiro y Quintero, 1993. p. 48.

Por su parte el comportamiento de las importaciones-exportaciones de productos de origen biotecnológico, aun sea del tipo tradicional, es deficitario en prácticamente todos los años que abarca una serie de tiempos desde 1950 al 2010 . Cabe hacer mención que los productos de origen primario y de origen químico muestran un mayor dinamismo, tanto en importaciones como exportaciones, ocupando el primer lugar los productos primarios (véase cuadro 3.22).

En el punto 4.3 se indica que en México se tienen importantes recursos humanos y económicos ocupados en el estudio de la problemática de la fijación de nitrógeno tanto en el aspecto de mejorar la eficiencia en leguminosas como en la búsqueda de alternativas para las gramíneas, especialmente en trigo y maíz. Precisamente existen dos investigaciones que abordan esta temática y que a continuación se reseña.

CUADRO 3.22: MEXICO: BALANZA COMERCIAL DE PRODUCTOS BIOTECNOLOGICOS SEGUN SU ORIGEN
cifras en millones de pesos

	1950*	1960*	1970*	1980*	1985	1990	1995	2000	2005	2010
IMPORTACIÓN										
Productos biotecnológicos de origen primario	61	126	334	1,736	4,328	4,116	6,034	8,269	11,531	15,049
Productos biotecnológicos de origen químico	41	106	156	340	495	815	1,132	1,490	1,963	2,474
Prod. biotecnológicos de origen químico-farmac.	96	398	412	479	728	479	545	580	629	640
Bebidas alcohólicas y alimentos. fermentados	26	33	42	142	83	78	79	75	72	66
EXPORTACIÓN										
Productos biotecnológicos de origen primario	64	58	76	260	212	1,794	2,517	5,270	5,327	7,349
Productos biotecnológicos de origen químico	5	11	76	24	60	613	906	1,460	2,286	3,524
Prod. biotecnológicos de origen químico-farmac.	-	146	177	51	84	60	195	157	123	94
Bebidas alcohólicas y alimentos. fermentados	17	16	58	189	657	1,307	1,646	2,269	3,017	4,003
BALANCE										
Productos biotecnológicos de origen primario	4	-68	-259	-1,476	-4,116	-2,322	-3,517	-2,999	-6,205	7,701
Productos biotecnológicos de origen químico	-36	-96	-80	-316	-435	-202	-226	-30	323	1,050
Prod. biotecnológicos de origen químico-farmac.	-96	-253	-235	-427	-645	-218	-349	-423	-506	-546
Bebidas alcohólicas y alimentos. fermentados	-10	-17	-16	47	575	1,300	1,567.3	2,194	2,945	3,937

* Cifras estimadas con datos históricos

** Cifras preliminares

FUENTE: Centro de Estudios Prospectivos, AC de la Fundación Javier Barros Sierra, AC; citado por Solleiro y Quintero, 1993. p. 45.

Un grupo de Microbiología del Suelo del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de la Universidad Autónoma de Puebla, ha registrado ciertos avances en la inoculación de semilla de maíz y trigo, proceso que se denomina biofertilización, vía bacterización de semilla. Esta se ha aplicado en algunas regiones de los estados de Veracruz, Tlaxcala, Puebla, Morelos y Guerrero (Cárcaño, 1993).

El uso de *Azospirillum* como biofertilizante ha sido validado a nivel de laboratorio y en campo. "...Paredes Cardona y col. demuestran incrementos significativos en el peso seco tanto de follaje como de la raíz de plantas de maíz, al inocular la planta en macetas, reportando incrementos con respecto a las plantas testigo, entre 22 y 118% de masa radical, la parte aérea entre 10 y 91% y el contenido de nitrógeno total hasta 101%, así como en la absorción de minerales y en el rendimiento de grano" (Cárcaño, 1993, p. 37).

Respecto a la evaluación en campo, realizada en una región tropical y en una templada (Veracruz y Tlaxcala), observándose incrementos en rendimiento y contenido de nitrógeno en grano, con respecto a otras áreas sin fertilizar. Se cita en extenso los resultados obtenidos en esta experiencia. "Hemos logrado (con la colaboración de campesinos de diferentes ejidos) obtener incrementos muy consistentes en la producción de maíz de temporal, los cuales fluctúan entre un 30 a un 70% en evaluaciones de 80 hectáreas biofertilizadas en el Edo. de Veracruz, donde los incrementos fluctuaron desde 1,445 Kg. a 2,574 Kg/ha habiendo permitido un ahorro considerable de fertilizante químico.

Así mismo, en evaluaciones sobre 45 ha de trigo inoculadas y fertilizadas (70-40-00) en una región templada del Edo. de Tlaxcala hubo incrementos del 22% en la producción sobre el rendimiento obtenido en el cultivo exclusivamente fertilizado con 120-60-00” (Ídem, p. 38).

También se reporta como exitoso la siembra biofertilizada en San Agustín Tlaxco, Puebla, donde se logró una disminución en los costos al reducir en 50% el uso de fertilizantes sintéticos y, a su vez, el rendimiento respondió favorablemente al obtenerse promedios de producción que oscilaron entre 1.5 a 3.0 ton/ha. Cabe mencionar que no en todos los casos se obtuvieron incrementos significativos en rendimiento, pero un parámetro que ha sido una constante en todos los casos, es la reducción en 50% en el uso de fertilizantes químicos.

Por estos resultados “en el periodo de 1988 a 1992 se han sembrado más de 700 hectáreas de maíz con biofertilizante en el Edo. de Veracruz, mientras que en Tlaxcala fueron de 63 de trigo y 75 de maíz” (Ibídem, p. 39).

De esta forma la biofertilización de estas gramíneas con *Azospirillum* ha pasado la etapa de laboratorio y en la fase de campo a demostrado sus bondades, por lo que es una alternativa que puede ser utilizada en otras regiones productoras y beneficiarse al disminuir sus costos de producción y aumento de la producción. En el cuadro 3.23 se ilustran los resultados de la investigación.

**CUADRO 3.23: BIOFERTILIZACIÓN CON *Azospirillum*: RENDIMIENTOS
EN MAÍZ Y TRIGO (CICLO PRIMAVERA-VERANO 1992)**

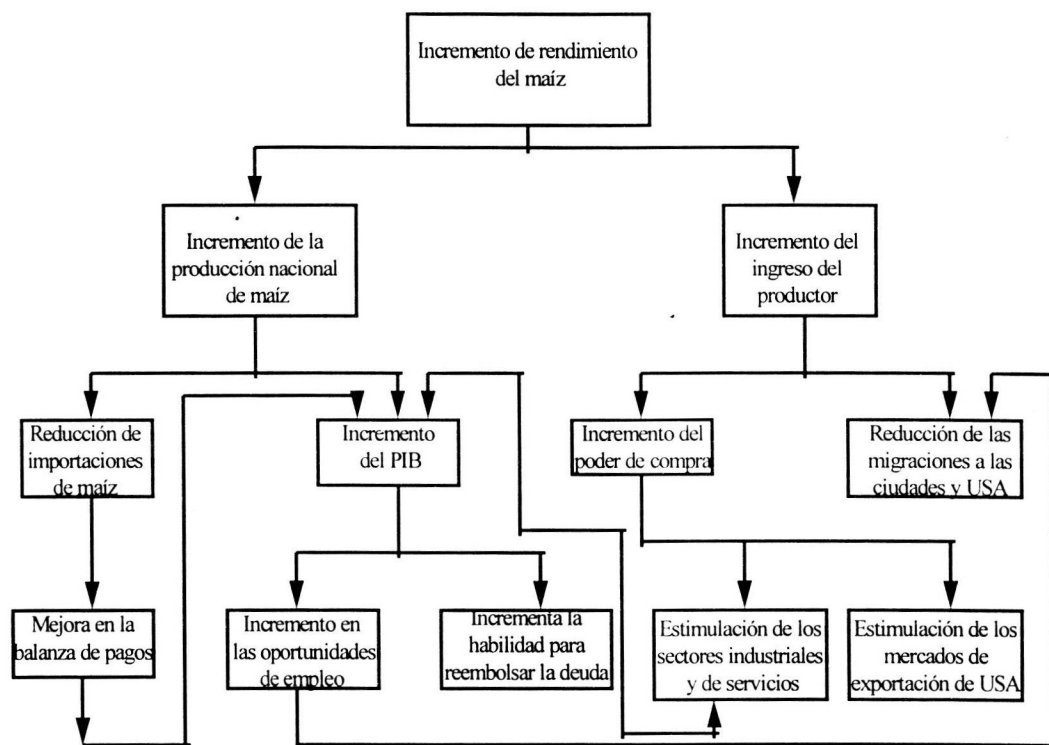
Estado	Rendimientos (ton/ha)	Disminución en el uso de fertilización química (%)
Tlaxcala	5.8	50
Puebla	5.5	50
Morelos	4.0	50
Guerrero	4.0	50

FUENTE: Cárcano, 1993. p. 40

En este mismo orden se tienen identificados 17 genes que participan en el proceso de fijación de nitrógeno, que a nivel de laboratorio se han logrado transferir de una bacteria a otra. Pero se pronostica que dicha tecnología estará disponible en aproximadamente de 5 a 50 años (Gilliland, 1988).

La investigación sobre fijación de nitrógeno realizada por Martha W. Gilliland supone precios constantes y que las biotecnologías para fijación de nitrógeno tendrán un impacto en los rendimientos del maíz al incrementar en 0.5 ton/ha, en 70% de la superficie sembrada con dicha gramínea en México. Bajo estos supuestos es previsible esperar un aumento significativo en la producción de maíz a nivel nacional, al incrementarse los rendimientos de los pequeños productores (minifundistas), que evidentemente incide en un aumento en sus ingresos (Véase fig. 4) (Ibídem).

FIGURA 4: IMPACTOS ECONOMICOS DE LA IMPLEMENTACION DE BIOTECNOLOGIAS DE FIJACION DE NITROGENO EN EL SECTOR MINIFUNDISTA DE MEXICO



Fuente: Gilliland. 1988, p. 30.

Bajo estas premisas se llega a la conclusión que al presentarse un incremento de 0.5 ton/ha en 5.2 millones de hectáreas, que son sembradas con maíz, implica que la producción nacional aumente en 21%, con la consecuente eliminación de importaciones y el logro de la autosuficiencia en el abasto del grano. Asimismo, los ingresos se podrían elevar en 55% (bajo el supuesto de precios constantes) (Ídem).

Dicha mejora en los ingresos de los productores trae como consecuencia una reactivación de la economía, ya que el mercado interno se incrementa y, a su vez “...causa un incremento al producto domestico en conjunto de México de 1.0%, con

lo cual se crean 200,000 empleos” (Ídem, p. 331). Sin embargo, la agricultura comercial no será impactada ya que los posibles beneficios que obtendrían al implementar tecnologías de fijación de nitrógeno en maíz, serían mínimos (véase cuadro 3.24).

CUADRO 3.24: IMPACTOS ECONÓMICOS DE LAS BIOTECNOLOGÍAS DE FIJACIÓN DE NITRÓGENO EN MÉXICO.

Tipo de Impacto	Si es implementado en:	
	Minifundistas	Agricultura comercial
Rendimiento en maíz	+ 26%	Sin cambios
Producción nacional de maíz	+ 21%	Sin cambios
Importación de maíz	Eliminada	Sin cambios
Balanza de pagos	+ 6.3%	Sin cambios
Producto Interno Bruto	+ 1.0%	Sin cambios
Creación de empleos	+ 1.5%	Sin cambios
Ingresos de la familia del agricultor	+ 55%	+ 10%
Costos de la producción de maíz	Sin cambios	+ 10%
Bifurcación económica	Decrece	Incrementa
Efectos en la migración a ciudades	Se desalienta	Se desalienta
Presión de emigración	decremento	Incrementa

FUENTE: Gilliland, 1988, p. 32.

Estas dos investigaciones, a pesar de abordar una misma temática, su enfoque es diferente. El caso de *Azospirillum* es un estudio práctico, con énfasis en la aplicación productiva, consignando experiencias en la producción de maíz y trigo en predios de algunos estados de la República Mexicana.

Por su parte el trabajo sobre fijación de nitrógeno se refiere a aspectos prospectivos. Es decir, a través de algunos supuestos se llega a resultados posibles, los cuales serán una realidad siempre y cuando los supuestos se cumplan. La importancia de este tipo de investigaciones radica en que pueden ser usadas como parámetro de planeación, fijando los objetivos y metas específicas.

Aspectos relevantes como resistencia a insectos, hongos y virus no cuentan con reportes sobre pruebas de campo. Estas se encuentran a nivel de laboratorio, sin tener todavía una liberación al ambiente para estudiar su comportamiento en campo.

La investigación biotecnológica implica el desembolso de importantes cantidades de recursos económicos, que indudablemente incidirá en el precio al consumidor del producto. Algunos casos de montos erogados en investigación biotecnológica son los siguientes:

"Los gastos de transferencia correcta de un fragmento de ADN de una célula a otra y la evaluación del producto es mínimamente de US\$ 1,000,000" (Ratledge, 1992, p. 17). Un estudio más reciente indica que los costos que se incurren en la generación de una nueva variedad, por medio de ingeniería genética, oscilan entre US\$ 25 a 50 millones (Biotechnology and Development Monitor, No. 17, dic. 1993) También se consigna que el cultivo de tejidos es rentable para aquellos cuyo valor esté por encima de los US\$ 700/Kg.

"El descubrimiento de una sola variedad mejorada de maíz para nutrición animal, a través de la ingeniería genética y la biotecnología, requiere la inversión de 6 millones de dólares en investigación y desarrollo, y alrededor de cinco años de maduración"

(Idem, p. 19).

Una situación ideal sería que un maíz y/o trigo transgénico que se caracterice por poseer resistencia a plagas y enfermedades implica para el agricultor ahorros en los costos por aplicación de insecticidas y fungicidas. Así como incrementos substanciales en los rendimientos.

Con el fin de determinar las bondades que ofrece una planta transgénica se elaboró el siguiente ejercicio que pretende dar una idea de las ventajas que ofrece un trigo y un maíz transgénico. El planteamiento consiste en hacer un análisis de los costos y niveles de producción que incurre el productor bajo el esquema de la tecnología de la revolución verde contra los que se tienen bajo el esquema agrobiotecnológico.

MAÍZ

Los costos de producción por hectárea en México son variables. Tomando cuatro estados representativos de las tecnologías regionales más productivas, se observa que los costos en 1993 oscilaron entre \$1766.⁰⁰ a \$4261.⁰⁰. Los cuatro estados reportan que las erogaciones por concepto de maquinaria e insumos superan la mitad del total, siendo para Chiapas del orden del 51.52%, para el Estado de México de 53.73%, en Guanajuato de 55.97% y en Sinaloa de 68.64% (véase cuadro 3.25).

**CUADRO 3.25: ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN ALGUNOS
ESTADOS SELECCIONADOS DE MÉXICO**

Concepto	Chiapas	Edo. de México	Guanajuato	Sinaloa
Maquinaria	280	750	885	1745
Insumos	630	687	843	1180
Mano de obra	513	664	552	345
Agua de riego	0	100	240	102
Diversos	213	323	264	651
Intereses	130	150	303	340
Costo total	1766	2674	3087	4261
Rendimiento (ton/Ha)	2.8	4.5	6	7.5
Costo (\$/ton)	631	594	515	568

FUENTE: FIRA, 1994.

Es claro que los insumos implican gastos de aproximadamente un cuarto del total. Suponiendo la generación de un maíz transgénico, al cual se haya transferido resistencia a todas las plagas y enfermedades que lo atacan. Asimismo, que posea la capacidad de fijar el nitrógeno del ambiente.

Esta situación trae como consecuencia un ahorro en los gastos. Sin embargo es necesario preguntarse cual será el precio de comercialización de la semilla de maíz transgénico. Es indudable que el precio de una simiente no alcance a cubrir lo que se gasta en todos los insumos. Manejando el supuesto que tal semilla valga el 75% de lo que corresponde a los costos por concepto de insumo e incluso que su precio iguale a los costos, se observa el escenario que a continuación se describe.

Al eliminar las pérdidas por plagas y enfermedades, que se considera que merman la producción en aproximadamente el 30% y aunado al aumento por la fijación biológica del nitrógeno, arroja resultados positivos en la productividad por hectárea.

Es decir, se observa un aumento en el rendimiento y en la calidad del producto cosechado.

En el primer caso la eliminación de las pérdidas significa que el rendimiento en el estado de Sinaloa se incrementa en 2.25 ton/ha, llegando a tener una producción por hectárea de 9.75 ton. En Guanajuato aumenta en 1.8 ton/ha, llegando a 7.8 por ha. En el Estado de México llegaría a 5.85 ton/ha, al incrementarse en 1.35 ton/ha. En cambio, en Chiapas se puede tener un rendimiento del orden de 3.64 ton/ha al incrementarse en 0.84 ton/ha. Adicionando el efecto producido por la fijación de nitrógeno los rendimientos ascienden a 10.25 para Sinaloa, 8.3 para Guanajuato, 6.35 para Edo. de México y 4.14 para Chiapas.

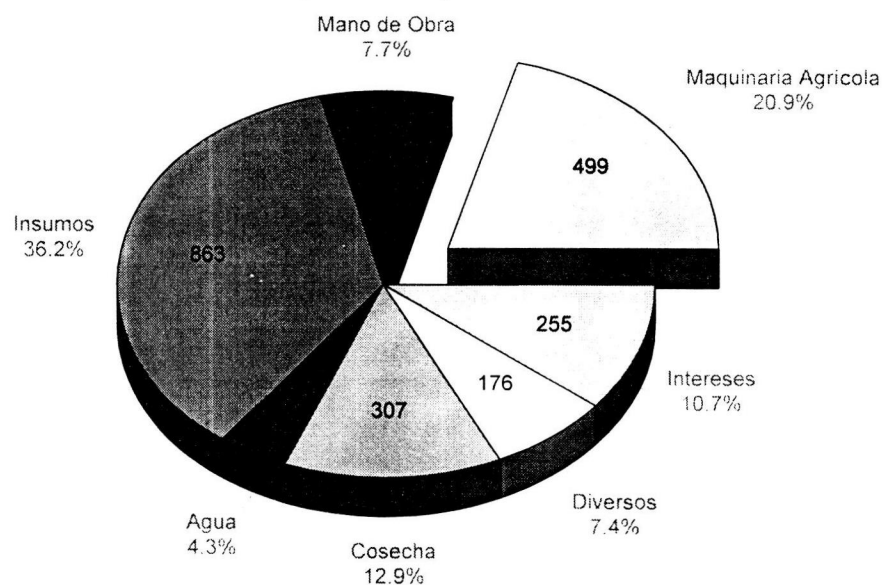
La rentabilidad de los maiceros, que producen con la tecnología actual, de los estados de Chiapas, Estado de México, Guanajuato y Sinaloa es de 1.18, 1.26, 1.45 y 1.32, respectivamente. En cambio, bajo los supuestos de material transgénico, para los mismos estados es la siguiente: 1.54, 1.64, 1.89 y 1.71, respectivamente.

TRIGO

La producción de trigo en México se realiza bajo tres modalidades: riego por gravedad, riego por bombeo y de temporal. El análisis de los costos por hectárea se

lleva a cabo para el Noroeste en la modalidad de riego por gravedad y por bombeo y en el Altiplano Central para temporal. Estos en 1993 oscilaron entre \$1303.ºº y \$3051.ºº. Los conceptos que mayor proporción tienen en los costos totales son insumos y maquinaria. En la producción bajo riego por gravedad y por bombeo del Noroeste éstos absorben un 57.08% y 40.64%, respectivamente. Para el caso de temporal, corresponden al 60.24% del total. Cabe mencionar que en riego por bombeo otro concepto que impacta significativamente los costos es el precio del agua.

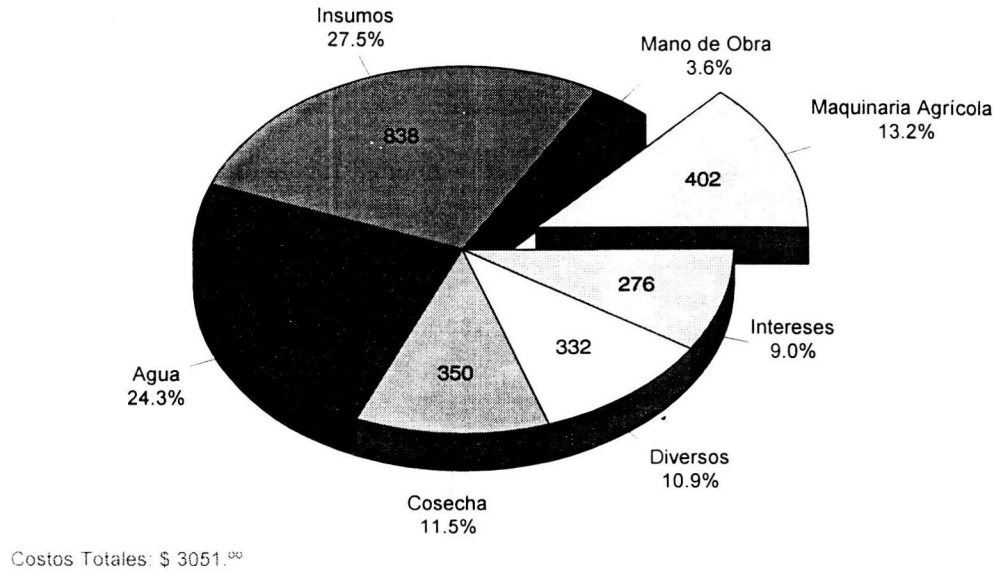
FIGURA 5: RIEGO POR GRAVEDAD
(NOROESTE)



Costos Totales: \$2386

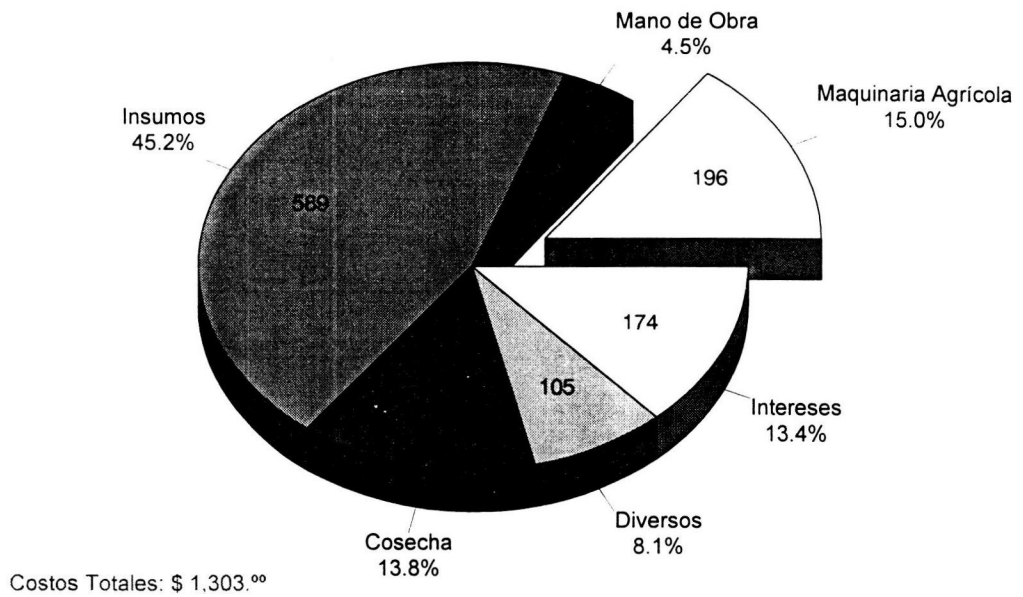
Fuente: Elaboración propia en base a información de FIRA, 1994.

FIGURA 6: RIEGO POR BOMBEO
(NOROESTE)



Fuente: Elaboración propia, en base a información de FIRA, 1994.

FIGURA 7: BAJO TEMPORAL
(ALTIPLANO CENTRAL)



Fuente: Elaboración propia en base a información de FIRA, 1994.

Los insumos que se ocupan para la producción de trigo inciden en aproximadamente un tercio del total y para el caso de la producción bajo temporal es prácticamente del 50%.

suponiendo un trigo transgénico resistente a todas las plagas y enfermedades que lo atacan y también que posea la cualidad de fijar biológicamente el nitrógeno. Considerando que, en términos generales, los especialistas parasitólogos consideran que las pérdidas, en promedio, por ataque de plagas y enfermedades ronda el 30%. Por ello la resistencia significa un aumento en el rendimiento de la gramínea.

Así, el rendimiento se incrementa de la siguiente manera:

- ♣ Riego por gravedad (Noroeste): 7.15 ton/ha.
- ♣ Riego por bombeo (Noroeste): 7.54 ton/ha.
- ♣ Temporal (Altiplano Central): 3.25 ton/ha.

Suponiendo que los costos se mantienen constantes y tomando en cuenta el precio de \$600.ºº por tonelada, se obtienen los ingresos brutos totales por hectárea, así como los ingresos netos, al descontar los costos totales.

Ingresos Brutos Totales

- ♣ Riego por gravedad (Noroeste): \$4,290.ºº
- ♣ Riego por bombeo (Noroeste). \$4,524.ºº
- ♣ Temporal (Altiplano Central): \$1950.ºº

Ingresos Netos

- * Riego por gravedad (Noroeste): \$1,904.⁰⁰
- * Riego por bombeo (Noroeste): \$1,473.⁰⁰
- * Temporal (Altiplano Central): \$647.⁰⁰

En base a esta información se obtiene la relación beneficio/costo, que consiste en dividir los ingresos totales brutos/ha entre los costos totales/ha, multiplicados por el factor de actualización, obteniéndose la siguiente relación:

- ♣ Riego por gravedad (Noroeste): 1.79
- ♣ Riego por bombeo (Noroeste): 1.48
- ♣ Temporal (Altiplano Central): 1.49

Estos datos indican que la producción triguera del Noroeste bajo riego por gravedad es la más rentable, ya que por cada peso invertido se obtiene una ganancia de 79 centavos. En cambio, en riego por bombeo su ganancia es de 48 centavos y la producción temporalera del Altiplano Central gana 49 centavos por peso invertido.

Al comparar la rentabilidad de producción con la tecnología actual, que para riego por gravedad es de 1.36 y por bombeo de 1.26, se observa un resultado favorable para la producción de trigo transgénico.

El análisis de estas características lleva a concluir que las investigaciones agrobiotecnológicas que buscan crear plantas transgénicas, con cualidades acorde a las necesidades del agro mexicano, son una exigencia, por lo que las universidades,

- centros de investigación, institutos, asociaciones de productores de maíz y trigo, el gobierno mexicano y todos aquellos interesados en el desarrollo económico del campo, deben de tensar al máximo sus capacidades y recursos para acometer con vigor y firmeza la tarea hasta lograr el objetivo deseado: "Una agricultura fuerte y competitiva a nivel internacional, bajo un esquema de alta productividad, utilizando los últimos adelantos tecnocientíficos".

3.3. VIABILIDAD DE LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

El país requiere un programa o proyecto nacional de desarrollo biotecnológico, que este inserto en el Plan Nacional de Ciencia y Tecnología, el cual debe estar acorde con un modelo económico que proporcione prioridad a las ciencias. Desde que se inició la planeación de la ciencia, hace 60 años, así como su profesionalización "no se ha generado ciencia para la sociedad sino para los científicos" (Guadarrama, 1995).

El desarrollo científico del país puede seguir tres caminos o escenarios:

- 1) El escéptico: caracterizado por un lento avance y realización de trabajos aislados por falta de un proyecto nacional y con más ciencia para los científicos.
- 2) El pesimista: donde se presenta un estancamiento de la ciencia.
- 3) El ideal: caracterizado por mayores apoyos a la ciencia y la tecnología, con el fin de que sean los pilares del progreso económico del país. (Ibídem).

El proyecto de biotecnología debe contener las líneas de investigación prioritarias para el crecimiento y desarrollo económico del país, así como las necesidades económicas, recursos humanos y las reglamentaciones que se necesitan en materia de bioseguridad.

Precisamente los aspectos de bioseguridad exigen que se realicen estudios profundos sobre las implicaciones que puede traer a la agricultura nacional, al acervo de germoplasma in situ ante el posible flujo genético entre las plantas transgénicas y las

nativas, al equilibrio ecológico y sus efectos en la salud humana y animal al ser ingeridos estos productos modificados.

- Ante esta situación debe existir una normatividad clara y expedita con el fin de evitar ambigüedades e interpretaciones. Asimismo es necesario que el Comité de Bioseguridad esté conformado por personalidades de reconocido prestigio científico y que además de las áreas agronómicas, también estén representados aquellos aspectos que pudieran salir perjudicados por la liberación de plantas transgénicas (genetistas, ecologistas, profesionales de la salud, etc.)

En la actualidad la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995, "por la que se establecen los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética", la cual responde a la consideración de que al poseer México una gran diversidad de plantas y animales y ser considerado a nivel mundial como un reservorio natural de especies, la introducción de los organismos manipulados mediante ingeniería genética para aplicarse en la agricultura, constituyen un alto riesgo por lo que su importación, movilización y uso en territorio nacional, debe realizarse en estricto apego a las medidas de bioseguridad que se establecen para estos organismos.

Para liberar al medio ambiente se requiere proporcionar la información que se explicita en la Solicitud del Certificado para la Liberación al Medio Ambiente de un Producto Transgénico, lo cual se realiza ante la DGSV.

En un plazo de 120 días naturales se emitirá la contestación, siempre y cuando la información requerida en la solicitud se encuentre completa. Tal solicitud es turnada al Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola para su revisión y dictamen. Si este es favorable, la DGSV concede el Certificado de Liberación al Ambiente

Para la importación de productos transgénicos se requiere presentar el Certificado Fitosanitario de Importación, expedido por la Dirección General de Inspección Fitozoosanitaria en Puertos, Aeropuertos y Fronteras, para lo cual se requiere original de los siguientes documentos: Requisitos Fitosanitarios y Medidas de Bioseguridad para Importación de Productos Transgénicos y el Certificado Fitosanitario Internacional. Los requisitos son expedidos por la DGSV. (Véase anexos).

De esta manera se tiene el primer antecedente regulatorio de transgénicos, pero al no estar sustentado en un marco general de desarrollo de la biotecnología provoca debilidades, lagunas e imprecisiones en las decisiones.

Bajo estas premisas conviene reflexionar sobre algunos aspectos de la biotecnología que pueden generar impactos negativos en el sector agropecuario y su entorno (medio ambiente).

3.3.1 IMPACTOS NEGATIVOS DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO

Si bien es cierto que la biotecnología incidirá positivamente en múltiples aspectos en los sectores productivo, también es cierto que tendrá impactos negativos. A nivel mundial existe un movimiento en contra de la producción de alimentos transgénicos, liderado por los grupos ecologistas, como Greenpeace. Sobre todo aquellos que han sido modificados confiriéndole la capacidad de resistencia a herbicidas.

Esta nueva cualidad implica que en los cultivos transgénicos se puede agregar una dosis mayor de herbicidas. Por ejemplo, la compañía Monsanto a creado un frijol soya transgénico que es resistente al producto químico Round Up (Faena), cuyo agente activo es el glifosato, por lo que se puede agregar hasta el doble de la dosis normal del herbicida. Esto implica una mayor contaminación de suelos y por ende, de mantos freáticos, provocando un desequilibrio ecológico (Greenpeace México, 1996).

Cabe mencionar que este producto se caracteriza por ser sumamente tóxico para los animales, incluyendo al hombre. Precisamente en el estado de California se tienen cifras

que catalogan al Round Up como la tercera causa más reportada de enfermedades relacionadas con plaguicidas entre los trabajadores agrícolas. Por esta situación la población europea se opone a la importación de este grano modificado, sin embargo la Comisión de la Unión Europea autorizó su importación en marzo de 1996 (Ibídem).

Otro ejemplo ilustrativo, también de Monsanto, son las promesas que se vendieron a los algodóneros a través de la variedad de algodón transgénico Bollgard, al cual se le insertó un gene de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, para protegerlo del ataque de lepidópteros. Sin embargo en la práctica no funcionó ya que los expertos dictaminaron que la sustancia insecticida que produce la planta no fue en cantidad suficiente ni con la rapidez necesaria, por lo que "...en algunas áreas plantadas las orugas atacaron hasta el 60 por ciento de la cosecha y, por lo menos, 8 mil hectáreas fueron destruidas en Texas por el gusano del algodón" (Ibídem, p. 60).

Otro caso muy sonado es la hormona de crecimiento bovino (bST), producida a través de ingeniería genética, cuyo uso se inició en 1994. Se ha probado por una serie de estudios que la introducción de la sustancia recombinante afecta la salud de los animales. Se considera que un 30% del hato lechero estadounidense utiliza la droga. En cambio, Europa prohibió su uso hasta el año 2000, fecha en que tiene que volver a revisar el expediente y tomar una nueva decisión (Ibídem).

Los Estados Unidos, siguiendo con su política de impulsar el desarrollo tecnológico en aras de aumentar el margen de ganancia de sus agricultores, a dado la aprobación para la liberación de un maíz transgénico, desarrollado por Ciba Geigy, resistente al gusano europeo del maíz, con el cual se ha producido el 0.6% de la producción total de este país. Pero la Unión Europea considera necesario prohibir el ingreso de este grano, ya que se cree que contiene otro gene que pudiera conferir resistencia antibiótica a los animales que lo consuman sin procesar, así como el impacto que pueda tener en el ambiente. Esto esta en revisión y presentarán sus resultados hasta dentro de tres meses (Maitland, 1996).

La compañía AgrEvo desarrolló un maíz y canola resistente al herbicida Basta (conocido en los Estados Unidos como Liberty), los cuales no han demostrado fehacientemente su inocuidad. Por ejemplo la canola se está produciendo en el Canadá, de donde se importa a los Estados Unidos y Japón, países que no han autorizado la producción en su territorio. Por su parte Inglaterra viene realizando una serie de estudios para determinar los peligros que pueden existir para las especies silvestres, ya que es centro de origen de dicha planta.

Una situación similar se vive en el caso de calabacita transgénica resistente a virus, para lo cual los Estados Unidos ha estado renuente a dar su aprobación de liberación, debido a que es centro de origen de la cucurbitacea. Es el mismo caso para el algodón, que no ha sido liberado en Florida y Hawai, donde existen especies silvestres.

Es evidente que existe preocupación por parte de la población, sobre todo de la mejor informada, como la europea. Asimismo de algunos gobiernos que consideran vital analizar los aspectos de bioseguridad. Así como organizaciones ecologistas, que llevan a cabo actividades tendientes a cuidar el entorno natural. Tal es el caso de Greenpeace, que considera que se deben realizar estudios profundos en las plantas transgénicas para determinar los peligros a que se expone la humanidad y el medio ambiente. Por ello recomiendan que lo más idóneo es la agricultura orgánica.

Por otra parte, haciendo mención a la inserción del gene que codifica para la producción de la endotoxina del Bt en las plantas y/o productos comerciales de plaguicidas, es necesario aclarar que por el hecho de ser un producto natural no está exento de provocar resistencia en las plagas, como lo hacen los productos químicos. Estos biopesticidas también provocan una reacción de autoinmunidad en las plagas.

Aspectos de suma importancia que se deben tomar en cuenta son aquellos efectos que pueden tener las tecnologías enzimáticas, que tienen que ver con la producción de sustitutos o sucedáneos de productos naturales. como el azúcar, chocolates, etc. "El revolucionario potencial de la tecnología enzimática se ha revelado por el descubrimiento de la glucosimerasa que ha permitido la producción de un sucedáneo del azúcar a partir del maíz" (OCDE, 1993, p. 158).

Esta producción de edulcorantes provocará el desmantelamiento de complejos productivos como el azucarero, provocando desempleo en el campo y pérdidas enormes en recursos económicos. De esta forma se abre ante las economías exportadoras de materias primas la sombra de la sustitución de los productos agrícolas por productos generados a través de procesos enzimáticos.

Una planta transgénica, al ser producida de una célula, por medio del cultivo de tejidos y micropropagación, significa que sean líneas homogéneas, lo cual genera indefensión ante problemas fitosanitarios y ambientales, cuyo impacto sería en toda la plantación en igual grado, al no existir variabilidad genética.

Al final de cuentas se debe tener cuidado en cuanto a la actitud que puede tener la sociedad ante la biotecnología, tomando en cuenta que los conocimientos que se tienen sobre ésta no es muy especializada, más bien son en términos muy generales, debido a que no se tienen ejemplos empíricos de su aplicación. Asimismo se requiere tener preciso que es biotecnología ya que "hoy día, casi todas las discusiones sobre las biotecnologías están precedidas de un debate sobre las definiciones y sobre la clasificación de las múltiples tecnologías que se alinean bajo la etiqueta "biotecnología" (OCDE, 1993, p. 175). También es importante tener en cuenta las posiciones que se asumen ante la ciencia y la tecnología.

Dependiendo del nivel y tipo de información será la respuesta de la sociedad. Si ésta es muy escasa, sin claridad y no llega a incidir en el grueso de la población, puede crear confusión. Por ello es importante generar un programa informativo donde se incluyan los pros y contras, así como la capacidad científica que existe para evaluar los riesgos de su introducción y liberación en campo, difundir la normatividad en la materia y, en suma, hacer claridad sobre las diferentes medidas existentes que aseguran la protección del medio ambiente como la salud humana y animal.

Por último es importante mencionar cual puede ser el efecto que tendrá en los estratos de productores. México se caracteriza por tener tres tipos de productores: de subsistencia, de transición y los de agricultura moderna.

Es claro que en cada estrato se resentirán efectos diferentes. Es muy posible que los productores de subsistencia no tengan mayor interés en asimilar la tecnología, por cultura e impedimentos económicos, tal como sucedió con la revolución verde.

"En México, los avances científicos y tecnológicos han sido aprovechados en forma diferencial. Con mayor celeridad en la agricultura moderna y con avance marginal en la agricultura de subsistencia. De acuerdo a la capacidad de incorporar y demandar innovaciones se distinguen: 1) La agricultura moderna que se practica en alrededor del 10% de los predios agrícolas; 2) La agricultura en transición en alrededor del 40% de los predios; y, 3) La agricultura tradicional, que es eminentemente de subsistencia en el 50%

restante. La característica central de la agricultura moderna es su consistente capacidad para incorporar innovaciones tecnológicas propiciada dicha capacidad por su vinculación comercial con los mercados" (Jimenez-Sanchez, 1993, p. 247).

Con ello queda claro que la biotecnología ahondará en sumo grado las diferencias que se agudizaron con la revolución verde, creando un problema social que puede tener consecuencias imprevisibles.

3.3.2 CAMPOS PRIORITARIOS DE INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO.

Determinar áreas prioritarias dentro del amplio campo que abarca la biotecnología es difícil, máxime si no se cuenta con un proyecto o plan rector del desarrollo científico en este campo. También provoca indefiniciones en materia de ciencia y tecnología, así como la situación ambigua de los planes y programas de gobierno que imposibilita identificar con claridad los sectores y temas prioritarios del plan nacional implementado por el gobierno.

Sin embargo es importante determinar los campos prioritarios para la biotecnología en México. De acuerdo con Quintero (1985) se presentan aquellos que poseen amplias posibilidades de lograr un desarrollo tecnológico, tales como en alimentos y forrajes,

productividad agrícola, productividad agropecuaria, contaminación, energía, salud, minerales y petróleo, los cuales se desglosan en el cuadro 3.26.

Cuadro 3.26: Campos prioritarios para la biotecnología en México

<i>Alimentos y forrajes:</i>	<i>Contaminación:</i>
Conservación de alimentos.	Biodegradación de desechos agrícolas, animales, urbanos, etc.
Fuentes no convencionales de proteínas alimenticias.	Biodegradación de residuos orgánicos, sintéticos, químicos, etc.
Enriquecimiento proteico de materiales amiláceos y celulósicos.	Purificación de aguas.
Alimentos fermentados regionales.	<i>Salud:</i>
<i>Productividad agrícola:</i>	Producción de vacunas.
Fertilizantes biológicos.	Producción de sustancias biológicamente activas en fuentes naturales.
Bioinsecticidas.	Producción de antibióticos.
<i>Productividad agropecuaria:</i>	Producción de aminoácidos y vitaminas.
Mejoramiento de especies animales y vegetales.	<i>Petróleo:</i>
<i>Minerales:</i>	Producción de productos biológicos utilizando fracciones de petróleo.
Lixiviación microbiana de minerales.	Bioconversiones.

Fuente: Quintero, 1985, p. 473.

Si bien es cierto que estos son los campos de prioridad para México es necesario discriminar y hacer énfasis en aquellas líneas de investigación, productos y/o procesos que sean viables tanto técnica como económicamente.

La Fundación Javier Barros Sierra, A.C. realizó un estudio prospectivo a través de una consulta a expertos, obteniendo información sobre el sector alimentario y energético en cuanto a desarrollos tecnológicos que pueden ser factibles en México. Estos resultados son citados por Quintero (1985) y se sintetizan en el cuadro 3.27.

Cuadro 3.27: Productos y/o procesos técnica y económicamente posibles de desarrollar en México.

Productos y/o procesos	1984	1990	2000
Utilización de algas marinas y otras como la Spirulina	XO	XO	---
Ensilados	XO	---	---
Reutilización de excretas	XO	---	---
Incremento de la digestibilidad de esquilmos y residuos agroindustriales	XO	X	---
Vitaminas	XO	XO	XO
Concentrados proteicos foliares y otros	X	XO	
Proteína celular de:			
• residuos agroindustriales (sólidos y líquidos)	XO	XO	X
• melaza	XO	XO	X
• metanol	XO	XO	X
• otros	XO	XO	X
Producción de setas y hongos	XO	---	---
Harinas de sangres, suero, carne y/o pescado	XO	---	---
Enzimas (α -amilasa, glucoamilasa, lactosa, invertasas, proteasas, pectinasas, glucosa isomerasa, penicilinasas, celulasa	XO	XO	X
Enzimas proteolíticas de origen vegetal	XO	---	X
Aminoácidos (lisina, ácido glutámico, metionina, triptófano y todos los demás esenciales)	XO	XO	XO
Enriquecimiento proteico de diversos materiales	X	---	---
Biopolímeros	XO	---	---
Producción de microalgas	X	---	---
Obtención de aceites esenciales	---	XO	---
Mononucleótidos (6MP, 5MP)	---	X	---
Procesos basados en cepas mejoradas y/o contruidos por ingeniería genética	---	X	---
Mejoramiento de los procesos para la producción de vitaminados, proteína unicelular, biopolímeros, setas, harinas, concentrados proteicos y ensilados	---	XO	---
Obtención de pigmentos	---	XO	---
Obtención de forrajes no convencionales (fermentación en sustrato sólido)	XO	XO	---
Ácido láctico	---	XO	---
Edulcorantes (fructosa)	---	O	---
Grasas microbianas	---	O	---
Alimentos no convencionales	---	O	---
Enzimas inmovilizadas	---	XO	---
Proteína sintética			O

X= técnica y O= económicamente posibles de desarrollar

FUENTE: Fundación Javier Barros Sierra, A.C., citado por Quintero, 1985, p. 474.

Por anterior, el presente trabajo considera que las biotecnologías denominadas intermedias o apropiadas son las más recomendables para México. Estas consisten en el desarrollo y adaptación de las biotecnologías tradicionales, las cuales presentan cierto grado de procesos innovativos y son técnicamente más simples, apropiadas para regiones específicas. Por ello son las más idóneas para las condiciones que prevalecen en el campo mexicano.

Aguilar-Robledo (1992) menciona que se le debe poner énfasis en impulsar la producción de productos biotecnológicos intermedios, tales como el Biofermel, preparado alimenticio para el ganado, desarrollado por el Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM. Este producto está formado por un 60% de melaza, 20% de fibra (rastrojo de maíz), un 5% de estiércol bovino, 2% de urea y un 13% de agua. Con este producto se puede sustituir el 50% del alimento balanceado para el ganado lechero y un 70% para el de engorda, con lo cual se logra disminuir los costos en un 50%. Así como el Ecefer, los hongos superiores comestibles (géneros *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*), *Spirulina*, fermentación de la yuca con hongos Mucorales y *Fungi imperfecti* con el fin de enriquecer de proteína el material amiláceo de la yuca, inoculantes para leguminosas (*Rhizobium leguminosarum*), bioinsecticidas y fertilizantes orgánicos, entre otros.

estas tecnologías al ser técnicamente más simples, no requieren mano de obra altamente calificada, por lo que son apropiadas para su explotación directamente por la población agrícola, ya sean los agricultores, ganaderos, jornaleros agrícolas, la mujer campesina y campesinos sin tierra. Ello implica arraigar al campesino en sus lugares de origen al proveer mayores posibilidades de empleo e incremento en sus ingresos.

Aguilar-Robledo (1992, p. 109) considera que "más que impulsar investigaciones biotecnológicas complementarias (de franca maquila a las que apoyan las compañías transnacionales), hay que impulsar las biotecnologías que mejoren y modernicen las que ya existen en el país".

México debe asumir una actitud de franco apoyo a la biotecnología intermedia o apropiada, generando un desarrollo endógeno de la misma y en la medida de lo posible, utilizar recursos para desarrollar estudios en la frontera del conocimiento, que tengan incidencia directa con estas tecnologías.

Sin embargo no se debe descartar la investigación en la biotecnología moderna. Sobre todo se debe impulsar la formación de recursos humanos en cantidad y calidad suficientes para acometer la tarea de adentrarse al estudio e investigación en esta área, llámese ingeniería genética en conjunción con la biología molecular y todas las nuevas técnicas de transformación que han hecho realidad que la materia viva pueda ser manipulada y crear un organismo acorde a las necesidades del productor, del industrial o

consumidor. Máxime que existen centros de investigación que poseen la capacidad técnica y científica para realizar este tipo de estudios : IBT, CINVESTAV, CP, CICY, entre otros.

Esta biotecnología intermedia debe ser concebida como una parte integral del desarrollo de la agricultura orgánica o ecológicamente sustentable, significativamente respetuosa del medio ambiente, utilizando los recursos que la propia naturaleza provee, evitando en la medida de lo posible, romper el delicado equilibrio ecológico.

Precisamente "...la agricultura orgánica es energéticamente eficiente, sana ambientalmente, productiva y estable, y tiende hacia la sustentabilidad a largo plazo...[y] ...también pasa la prueba de la rentabilidad...(Ibídem, p. 111).

En este orden de ideas se inserta el esquema impulsado por una buena parte de los profesionales dedicados al combate de las plagas que asolan la agricultura nacional, considerando pertinente y saludable para el ambiente impulsar y crear una cultura entre los productores agrícolas que favorezca el control biológico de las plagas, lo cual "...puede significar el control permanente de éstas. Los logros en esa materia obtenidos en California han producido beneficios de 25 dólares por cada dólar invertido, incluidos los costos de los casos fallidos. La redituabilidad de los plaguicidas es diez veces menor, sin contar los costos sociales que ocasiona la contaminación ambiental. Un ejemplo exitoso de control biológico es el de la chinche harinosa de la yuca en África; se ha

- determinado una tasa de beneficio a costo de 149 a 1. Debido a que este tipo de control no es patentable y puede autoperpetuarse, su desarrollo sólo es posible con recursos sociales que ahora no recibe y que, sin embargo comienzan a aplicarse a la biotecnología" (Vega y Trujillo, 1989, p. 948).

El hombre en su actividad productora de alimentos para la sociedad tiene que enfrentarse a enemigos de los cultivos, que durante décadas, sobre todo con el advenimiento de la revolución verde, a estado usado productos químicos, con los consecuentes efectos nocivos al medio ambiente, así como el desarrollo de resistencia de los patógenos a los químicos y la eliminación de los enemigos naturales.

Ante esta situación se han buscado medidas menos agresivas a la naturaleza, por lo que se ha puesto atención a los microorganismos que atacan plagas. Con éstos se ha conformado el método de control biológico de las plagas, enfermedades y malezas. Este tipo de protección de las plantas utiliza parásitos, depredadores y microorganismos.

El primer antecedente sobre la existencia de microorganismos que atacan insectos se remonta a 1835, año en que se descubrió que un hongo era el agente causal de la muerte del gusano de seda. Acontecimiento que dio inicio a las investigaciones para detectar aquellos que son dañinos para las plagas de interés económico. Estos estudios han logrado determinar que el uso de estos microorganismos es un método muy eficaz para controlar las plagas (Fernández-Larrea, 1995).

A pesar de conocer la existencia de miles de microorganismos entomopatógenos, son muy pocos los que se están usando en forma intensiva en el combate de las plagas, lo cual tiene que ver con la problemática que se tiene para su reproducción y por su baja persistencia en el campo. Sin embargo se observa un uso cada vez mayor en la agricultura (Ibídem).

Fernández-Larrea (1995) reporta que existe un buen número de empresas dedicadas a la producción de biopesticidas. La siguiente tabla indica la producción de microorganismos en 1993 a nivel mundial.

Microorganismo	Número de productos
Bacterias	104
Hongos	44
Virus	12
Protozoos	6

Los microorganismos más utilizados son los siguientes:

1.- Bacterias entomopatógenas:

Bacillus thuringiensis

Bacillus sphaericus

2.- Virus:

Baculovirus:

Virus de la Polihedrosis Nuclear (VPN)

Virus de la Granulosis (GV)

3.- Hongos entomopatógenos:

Beauveria bassiana

Metarhizium anisopliae

Verticillium lecanii

Paecilomyces lilacinus

Hirsuthella thompsonii

4.- Hongos antagonistas:

Trichoderma

Verticillium

5.- Bacterias antagonistas:

Bacillus (productoras de antibióticos) (Fernández-Larrea, 1995).

En México, la Dirección General de Sanidad Vegetal toma en cuenta dentro de sus estrategias de combate contra las plagas el uso del control biológico. Un ejemplo de lo anterior se encuentra en la campaña implementada para el control y erradicación de la mosca del mediterráneo y moscas de la fruta, donde se hace uso de moscas estériles, producidas en una planta que está ubicada en Chiapas. Esto provoca una disrupción en el ciclo de vida al evitar que el apareamiento sea fértil, provocando una disminución de la población del insecto.

Asimismo se utiliza y se recomienda el uso del *Trichogramma*, que ataca a más de 150 especies distintas de palomillas (huevecillos), algunas de las plagas más comunes son: gusano del fruto, el barrenador europeo, gusano cogollero, gusano soldado y gusano del cuerno, entre otros.

Existen varios Centros Regionales de Estudios y Reproducción de Organismos Benéficos (CREROB), los cuales están distribuidos en Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Región Lagunera, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz. Estos centros producen, en su mayoría, *Trichogramma*, pero algunos también producen *Chrysoperla*, *Paecilomyces*, *Metharrizium*, *Spalangia*, *Beauveria*, *Hippodamia*, *Diachasmimorpha* y *Aceratoneuromyia* (Comunicación personal, Ing. Filiberto Nieves). El cuadro 3.28 refleja una información más completa sobre la producción de entomopatógenos.

Con todo este panorama es claro que México debe asumir una actitud de combinar las diversas alternativas para tratar de resolver la problemática que aqueja al campo: apoyar la biotecnología intermedia, la formación de recursos humanos en biotecnología moderna, en conjunción con un apoyo decidido a la agricultura orgánica, con el fin de alcanzar el desarrollo autosustentable.

**CUADRO 3.28: REPRODUCCION DE ORGANISMOS BENEFICOS EN MÉXICO
(1995)**

Organismo benéfico	Lugar de producción	Producción (millones unidades)	Liberación (millones unidades)	Plaga combatida	Cultivos protegidos	Superficie benef. (Ha)	Agricultores benef. (Núm)
<i>Trichogramma pretiosum</i> , <i>T. exiguum</i> , <i>T. minutum</i> y <i>T. endius</i>	Cd. Constitución, BCS.; Tapachula, Chis.; Cd. Juárez, Chih.; Durango, Dgo.; Chilpancingo, Gro.; Zapotlanejo, Jal.; Apatzingan, Mich.; San Leonel, Nay.; Sto. Domingo Etla, Oax.; Torreón, Reg. Lag.; Cd. Fernández, S.L.P.; Guasave, Sin.; Cd. Victoria, Matamoros, Tamps. y Jalapa, Ver.	20,484.6	14,530.6	<i>Spodoptera frugiperda</i> <i>Heliothis zea</i> <i>Heliothis virescens</i> , <i>Pectinophora gossypiella</i> <i>Carpocapsa pomonella</i> <i>Calerio lineata</i> <i>Diatraea spp</i> <i>Diatraea saccharalis</i> <i>Diatraea sp.</i> <i>Zeadiatraea lineolata</i> , <i>Spodoptera exigua</i> , <i>Pseudoletia unipuncta</i> , <i>Mocis</i> <i>latipes</i> , , <i>Eoreuma spp.</i> , <i>Laspeyresia caryana</i> , <i>Acrobasis nuxvorella</i> Lepidópteros <i>Heliothis sp.</i> <i>Trichoplusia nii</i> <i>Zeadiatraea sp.</i>	Garbanzo, hortalizas, áreas verdes, sandía, melon, tomate, alfalfa, frijol, maíz, jitomate, algodón manzano vid okra caña de azucar, aguacate, tabaco, pasto, sorgo, nogal malezas chile bell, chile jalapeño, lechuga, soya trigo.	892,070	29,164

CUADRO 3.28: Continuación

Organismo benéfico	Lugar de producción	Producción (millones Unidades)	Liberación (millones unidades)	Plaga combatida	Cultivos protegidos	Superficie benef. (Ha)	Agricultores benef. (Núm)
<i>Chrysoperla sp</i> <i>Chrysoperla carnea</i>	Mexicali, B.C.; Cd. Constitución, B.C.S.; Cd. Fernández, S.L.P.; Torreón, Reg. Lag.; hermosillo, Caborca, Son.; Matamoros, Tamps.	193.7	159.88	<i>Schizaphis graminum</i> Afidios <i>Myzus persicae</i> <i>Heliothis zea</i> <i>Bemisia argentifolii</i> <i>Bemisia tabaci</i> <i>Tetraleurodes ursorum</i>	Trigo Maíz, sorgo, okra, nogal Melón, sandía Alfalfa, melón Algodón Jitomate, chile Frijol, citricos, hortalizas	28,928	1,019
<i>Beauveria bassiana</i>	Tapachula, Chis.; Tlax. y Jalapa, Ver.	9,391.60 Lts.	5,973.70 Lts	<i>Hypothenemus hampei</i>	Café	8,777	N.D.
<i>Metarhizium</i> <i>anisopliae</i>	Tepic, Nay.; Tlax. y Jalapa, Ver.	1,066.8 Lts	1,050.65 Lts	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Tabaco, maíz	1,478.5	255.0
<i>Paecilomyces</i> <i>farinosus</i>	Tepic, Nay. y Jalapa, Ver.	958 Lts	635.4 Lts	<i>Bemisia tabaci</i>	Tabaco, melón, sandía, chile, jitomate	675	N.D.
<i>Spalangia endius</i>	Hermosillo, Son.	1,188 Lts	968 Lts	<i>Musca domestica</i>	Corrales de engorda	406.5	N.D.
<i>Hippodamia</i> <i>convergens</i>	Hermosillo, Son.	4.9	4.9	Pulgón	Hortalizas	1,014	N.D.
<i>Diachasmimorpha</i> <i>longicaudata</i>	Jalapa, Ver.	2.2	N.D.	<i>Anastrepha ludens</i>	Citricos	N.D.	N.D.
<i>Acerotoneuromyia</i> <i>indica</i>	Jalapa, Ver.	1.6	0.6	<i>Anastrepha obliqua</i>	Mango manila	28	N.D.

N.D. No Disponible

Fuente: Dirección General de Sanidad Vegetal-.SAGAR. 1996. Informe Anual de los Centros Regionales de Estudios y Reproducción de Organismos Benéficos.
Avance anual 1995. Circulación restringida.

Por último es necesario mencionar que existe otra alternativa que tiene que ver con asumir una actitud de seguidor de los países que son líderes en el desarrollo de la biotecnología. Ello implica tener la capacidad tecnocientífica de la fuerza de trabajo calificada para poder asumir una actitud más crítica y constructiva ante la tecnología extranjera, de tal forma que se pueda realizar la transferencia de tecnología en forma inteligente, escogiendo aquellas que tengan un mayor efecto multiplicador en la economía. También para llevar a cabo las adecuaciones y adaptaciones pertinentes para el mejor aprovechamiento, de acuerdo con las condiciones particulares que prevalecen en el sector productivo mexicano.

Asumir una actitud de seguidor tecnológico (Solleiro y Quintero, 1993) conlleva tener un equipo de científicos y tecnólogos altamente capacitados, así como una fuerza de trabajo capacitada y entrenada para entender el nuevo entorno tecnológico, lo cual posibilita llevar una política de transferencia de tecnología adecuada a las condiciones y necesidades del país.

4- CONCLUSIONES

- La investigación biotecnológica requiere de la existencia de un sistema nacional de ciencia y tecnología, fuertemente articulado con el sector productivo. Dicha situación no se cumple a cabalidad para el caso mexicano.

Es un hecho la desvinculación Universidad-Industria, de tal forma que los avances tecnocientíficos logrados por investigadores mexicanos de centros de investigación y/o universidades no llegan a incidir en los procesos productivos del sector industrial. Muchos de sus resultados se quedan en los archiveros, convirtiéndose en pérdidas de tiempo y dinero.

Por otra parte, el apoyo económico a proyectos de investigación es escaso, traduciéndose en carencia de materiales y equipo científico, lo que demerita la calidad y el tiempo de obtención de resultados. El exiguo apoyo económico es, en su mayoría, canalizado por el sector gubernamental, siendo marginal la participación de los sectores productivos de la iniciativa privada.

Los recursos económicos que el estado mexicano asigna a Investigación y Desarrollo está muy por abajo del monto mínimo sugerido por organismos internacionales, que proponen el 1% con respecto al PIB. México invierte en este rubro menos del 0.5% con respecto al PIB.

A su vez, las empresas no están equipadas con infraestructura científica, siendo muy pocas las que cuentan con áreas dedicadas a investigación y desarrollo. Su filosofía es comprar tecnología del exterior.

Las investigaciones realizadas en los diversos centros y/o universidades que poseen infraestructura y recursos humanos, muchas veces son repetitivas.

Es necesario mencionar que esta situación ha generado cierta anarquía, ya que no existe coordinación entre las diversas unidades de investigación para trabajar en forma conjunta proyectos sobre el mismo tema, que son llevados individualmente. Ello significa derroche de recursos.

Son contados los centros de investigación que realizan estudios básicos sobre vegetales de interés económico. Es necesario lograr un equilibrio entre investigación básica e investigación aplicada, ya que la primera esclarece las posibilidades de la segunda.

Por lo tanto, para ciencia y desarrollo se debe buscar una mayor participación del sector empresarial en el financiamiento de proyectos científicos de investigación, así como un incremento del gasto gubernamental hasta cubrir el monto mínimo propuesto para países en desarrollo (1% del PIB).

Es necesario que el gobierno implemente los mecanismos adecuados para incentivar a las empresas para que inviertan en investigación y desarrollo, creando infraestructura y áreas específicas para el control, planeación y dirección de esta actividad. Su importancia se ejemplifica con el caso de Vitro y Condumex, cuyas áreas de investigación y desarrollo resultan hasta diez veces más rentable que el resto de las divisiones (El Financiero, 5-08-96).

Por su parte, el organismo rector de ID debe ser fortalecido, otorgándole mayor poder de decisión y que realmente coordine y marque los lineamientos normativos y operacionales del sistema científico mexicano.

Que el gobierno coadyuve a la generación y mantenimiento de empresas de base tecnológica, vía incentivos fiscales y aprovisionamiento de capital de riesgo. Es menester que empresarios y gobierno entiendan que la única forma de ser protagonista en la historia del próximo milenio es colocar en sus justos términos a las tecnologías de punta y actuar en consecuencia. Es decir, incrementar sus gastos en capacitación científico-técnica de su personal e iniciar proyectos de investigación gracias a las facilidades otorgadas por el gobierno.

En suma, el sistema científico mexicano carece de capacidad material, no de calidad de su personal científico, para responder a las ingentes necesidades nacionales. A pesar de contar con un programa nacional de ciencia y tecnología, no existe la intención real de

los sectores involucrados para apoyar esta importante área, que incide en toda la sociedad, ya que ante una crisis económica, muy común en México, lo primero que se recorta son los gastos en educación y el presupuesto destinado a investigación.

A últimas fechas destacan los avances científicos y tecnológicos en microelectrónica, robótica, informática, nuevos materiales y biotecnología, que requieren de cuadros científicos altamente calificados en química, física, biología, biología molecular y otras disciplinas científicas.

Para el caso de biotecnología, altamente exigente de preparación científico-técnica, México cuenta con una buena base científica, materializada en un pequeño grupo de científicos del más alto nivel, que trabajan en varios centros de investigación biotecnológica diseminados en el país, destacándose dos unidades: El CINVESTAV-Irapuato y el IBT-UNAM. Dichos centros son los mejor equipados y con la mayoría de su personal científico a nivel doctoral, con amplia experiencia en investigaciones biotecnológicas.

A pesar que la biotecnología es estratégica para el desarrollo económico del país, a la fecha no se tiene un plan nacional de desarrollo de esta importante rama del saber científico, hacedor de técnicas, procesos y productos que están trastocando las formas tradicionales de producción agropecuaria. De tal forma que las investigaciones

agrobiotecnológicas no responden a objetivos nacionales marcados como prioritarios para el desarrollo nacional.

Asimismo, es conveniente que se elabore un plan nacional de desarrollo biotecnológico, marcando las prioridades nacionales, objetivos y metas; involucrando al sector productivo.

De suma importancia para el buen funcionamiento de dicho plan es contar con una base de datos de las instituciones que realizan investigación biotecnológica, donde se indique el área de trabajo (agrícola, pecuario, salud, alimenticio, etc.), el objeto de estudio, finalidades, avances, tipo de investigación (básica o aplicada), inversión y su procedencia, infraestructura científica, personal científico y sus niveles académicos, etc.

Los mayores avances en agrobiotecnología se observan, como en todo el mundo, en ornamentales y productos hortofrutícolas. Siendo difícil el trabajo con cereales y en general con aquellas plantas que se reproducen por medio de semillas.

Debido a la problemática encontrada para la regeneración eficiente de las plantas, ya no de la transformación, se esta buscando la forma en que la biotecnología incida en forma sustancial en el mejoramiento tradicional de las plantas de interés económico, tales como el maíz y trigo. Para ello se utiliza las técnicas de RFLP para el mapeo génico, que coadyuva a un trabajo de mejoramiento más preciso y rápido.

Las capacidades para solucionar los problemas del agro mexicano de las diversas tecnologías que conforman la agrobiotecnología indican que en el futuro incidirán favorablemente, siempre y cuando no se sigan las pautas de desarrollo de las transnacionales de los países industrializados, que han priorizado la generación de plantas resistentes a herbicidas, con el fin de alargar el ciclo de vida de sus productos.

Fundamentalmente, México debe desarrollar sus capacidades agrobiotecnológicas en cultivo de células y tejidos en hortalizas, frutas y ornamentales, con gran potencial en el mercado internacional. Asimismo, se debe de intensificar la atención y el financiamiento de proyectos de investigación en granos, de gran importancia para la alimentación del pueblo mexicano: maíz, trigo, arroz y frijol.

En estos cultivos se debe incidir en aspectos relacionados con el aumento de los rendimientos, vía fijación biológica del nitrógeno en forma eficiente, resistencia a plagas y enfermedades, así como al stress.

Sin embargo, se debe priorizar en aquellas biotecnologías intermedias, debido a su impacto que pueden tener en el empleo rural, ingresos y por ser utilizadoras netas de recursos generados en el sector rural regional y no requerir de mano de obra altamente calificada. Asimismo se deben crear las bases en recursos humanos, altamente

capacitados para tener la posibilidad de explorar en las áreas que marcan la pauta del desarrollo tecnológico, en la medida de las posibilidades de México.

- Desarrollar una base de datos sobre los genes disponibles, conteniendo información sobre el tipo de acción que regulan, controlan o inciden dentro de los aspectos funcionales de la planta, tales como rendimiento, calidad del grano, etc.

En base al banco de genes se planean las actividades de investigación en los aspectos de fitomejoramiento de los vegetales, promoviendo las técnicas más eficientes para el logro de los objetivos planteados en la investigación, los cuales deben responder a los lineamientos establecidos en el programa nacional de desarrollo biotecnológico nacional.

Es necesario acotar que la aplicación agrobiotecnológica para la generación de plantas transgénicas, por ejemplo maíz y trigo, con nuevas características tendrá una consecuencia inmediata en los precios de las semillas, los cuales aumentarán. Dicho aumento de precios de las simientes de las plantas transgénicas impactará negativamente a los productores de bajos ingresos, imposibilitando su participación en el disfrute de los adelantos científicos obtenidos en este rubro.

Las investigaciones que reportan mayores avances, en maíz y trigo en México, son biofertilización y la caracterización molecular del genoma. Precisamente esta

caracterización busca el conocimiento profundo de la organización del genoma de los vegetales para realizar un trabajo de fitomejoramiento más preciso y rápido.

- Para el caso de biofertilización se han tenido algunos avances, aunque marginales, en la producción de maíz y trigo. A su vez, un estudio prospectivo indica que la fijación biológica de nitrógeno redundará en grandes beneficios tales como un aumento en el rendimiento del orden de 0.5 ton/ha, lo cual indica un aumento significativo en la producción nacional de maíz. Tal incremento se presentará en aproximadamente el 70% de tierras dedicadas a la producción de este grano, que están en manos de los minifundistas. Por lo tanto el impacto incidirá en los pequeños productores de maíz al aumentar sus ingresos.

Esta situación hace que la producción nacional resienta un aumento del 21% y los ingresos del 55%. Al incrementar el poder de compra de los campesinos maiceros dinamiza el mercado interno generando un aumento del 1% del producto interno bruto, lo que implican 200,000 nuevos empleos. Tal situación es válido para los pequeños productores, pero no para los empresarios agrícolas o el segmento de la agricultura comercial.

En suma , México debe darse a la tarea de crear los conocimientos y las tecnologías necesarias para lograr que los productores agrícolas logren aumentar sus rendimientos y la calidad de sus productos, asimismo en la disminución relativa de los costos por

producto unitario producido. Ello lo pondrá en la órbita de los países que han solucionado sus más apremiantes carencias y que proporcionan a sus habitantes las mejores condiciones de bienestar social.

Una alternativa viable para hacer posible lo anterior es que el país asuma el papel del “buen seguidor tecnológico” (Solleiro y Quintero, 1993), que consiste en tener un personal científico altamente calificado que posibilite una transferencia eficiente de tecnología, la cual debe ser minuciosamente seleccionada, de acuerdo a las prioridades nacionales. Esto es así porque con los recursos humanos y materiales que se cuentan en la actualidad no son suficientes para tomar un papel de vanguardia en biotecnología. Al final, la carrera será ganada por las transnacionales y/o países desarrollados.

BIBLIOGRAFIA

ABDEL R., I.H y H. Cleveland. 1980. Dinamismo y desarrollo. La ciencia y la técnica del futuro. Ciencia y Desarrollo, núm. 31, marzo-abril 1980. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

ABOITES M., G. 1992. Problemas que plantea la biotecnología en el marco legislativo de la propiedad intelectual: el caso de México. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

ABREU, L. F. y S.R. Medina. 1991. Desarrollo científico-tecnológico y educación: hacia la tercera revolución industrial. En: M.A. Campos y J.J. El sistema de ciencia y tecnología en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. México, D.F.

AGBIOTECH NEWS AND INFORMATION, Vol. 6, No. 11, 1994.

----- Vol. 6, No. 12, 1994.

----- Vol. 7, No. 1, 1995.

----- Vol. 7, No. 2, 1995.

AGRICULTURAL AND RURAL DEVELOPMENT DEPARTMENT, World Bank;
Australian Centre for International Agricultural Research; et al. 1991.
Agricultural biotechnology: The next "Green Revolution"? World Bank
Technical Paper, number 133. The World Bank. Washington, D.C.

AGUILAR R., M. A. 1994. CIMMYT: Por una investigación agrícola necesaria.
Información Científica y Tecnológica; Vol. 16, Núm. 214, julio de 1994. Consejo
Nacional de Ciencia y Tecnología. México. D.F. 32-36 pp.

AGUILAR-ROBLEDO, M. 1992. Alternativas para la agricultura en el campo
mexicano: ¿Tradición versus modernidad? Tecnología y Ciencias Agropecuarias;
Vol. 1, Num. 2, Octubre 1992. Escuela de Agronomía, Universidad Autónoma de
San Luis Potosí; San Luis Potosí. México. 105-113 pp.

ALZATI A., F. 1993. Modernización tecnológica en una economía abierta. En: J.
Labastida M. del C., et al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos
desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México.
México, D.F.

ANDERE, E. y L. Archundia. 1995. Indicadores sobre la formación de recursos
humanos en México y en el mundo. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XXI,

núm. 122, mayo/junio de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
México, D.F.

- AÑÉ A., L. 1992. Las empresas transnacionales agroalimentarias y las nuevas formas de producir alimentos: El desafío de la biotecnología. En: R. Schwentesius R. y M. A. Gómez C. (comp.). Implicaciones del progreso tecnológico en la agricultura de países en desarrollo. Universidad Autónoma Chapingo, Humboldt Universität zu Berlin. Chapingo, México.

Apoyar la ciencia y la tecnología. La Jornada, 15 de enero de 1995. México, D.F.

ARIAS C., C.; et al. 1992. Biología de células y tejidos vegetales: metabolismo secundario. Avance y Perspectiva, vol. 11, noviembre-diciembre de 1992. Cinvestav. México, D.F. 367-374 pp.

ARROYO, Gonzalo. 1986. El desarrollo de la biotecnología: desafíos para la agricultura y la agroindustria. UAM-Unidad Xochimilco. México, D.F.

---1988. Biología: una salida para la crisis agroalimentaria. Plaza y Valdés Editores. México, D.F.

---1989. La biología y el problema alimentario en México. Plaza y Valdés Editores. México, D.F.

---1989. La pérdida de la autosuficiencia alimentaria y el auge de la ganadería en México. Colección Agricultura y Economía. Plaza y Valdés Editores-Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. México, D.F.

---1992. La biotecnología en Chile y las experiencias de su aplicación. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

ASOCIACIÓN MEXICANA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. 1994. Ciencia y tecnología en México. El Financiero, 15 de diciembre de 1994.

ASPIROZ R., H.S. 1993. La biotecnología en el mejoramiento del maíz. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

AVALOS, I. 1990. Biotecnología e industria. Un ensayo de interpretación teórica. Serie documentos de programas No. 18. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

---1990. Elementos para la formulación de políticas y estrategias de desarrollo de las biotecnologías en América Latina y el Caribe. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y

Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

- AYALA, F. 1995. La ingeniería genética: ¿hacia un mundo mejor? Ciencias, núm. 37, enero-marzo de 1995. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. México, D.F.

BAJAJ, Y.P.S. 1989. Induction and cryopreservation of somaclonal variation in wheat and rice. En: Mujeeb-Kazi, A. and L.A. Sitch (Eds.). Review of advances in plant biotechnology, 1985-1988; 2nd International Symposium of Genetic Manipulation in Crop. México, México, D.F., and Manila, Philippines; CIMMYT and IRRI.

BALBÁS, Paulina. 1989. Ingeniería genética y biotecnología. OEA. Washington, D.C.

BALLESTEROS, C. y J. L. Talancon. 1987. El proyecto EUREKA. Un punto de referencia para la discusión de las políticas de innovación tecnológica. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales-Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México, D.F.

BALLESTEROS, C. 1989. La promoción estatal de la tecnología. Problematicación de la política tecnológica de México en la década de los ochenta. Universidad

Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.
México, D.F.

- FIRA. 1994. Elementos de análisis de las cadenas productivas. Documento técnico. Trigo. División de Divulgación y Publicaciones de FIRA-Banco de México.

---1994. Elementos de análisis de las cadenas productivas. Documento técnico. Maíz.
División de Divulgación y Publicaciones de FIRA-Banco de México.

BARAJAS, R. E. 1991. Biotechnología y revolución verde, especificidades y divergencias. Sociológica, Año 6, Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F.

BÁRZANA G, E.; y A López-Munguía C. 1993. La tecnología enzimática. En: M. García G., R. Quintero R, A. López-Munguía C. Biotechnología alimentaria. LIMUSA, Noriega editores. México, D.F.

Básico, que el sector privado gaste en tecnología: Procyt. El Financiero, 19 de abril de 1996. México, D.F.

BECERRA, R. 1993. La ventaja competitiva de las naciones. Universidad Futura, vol. 4, núm. 12, otoño 1993. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. México, D.F.

BECERRIL, I. y G. Flores. 1996. Desaprovechan empresas créditos para tecnología. El Financiero, 29 de enero de 1996.

---1996. Estancada la modernización tecnológica. El Financiero, 29 de enero de 1996. México, D.F.

BIOTECHNOLOGY AND DEVELOPMENT MONITOR, No 17, december 1993. Department of International Relations and Public International Law of the University of Amsterdam. Amsterdam, Holanda.

---No 16, september 1993. Department of International Relations and Public International Law of the University of Amsterdam. Amsterdam, Holanda.

BLANCO, J. 1993. Formación de recursos humanos y desarrollo económico. En: J. Labastida M. del C., et al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

BOLÍVAR Z., F. 1993. La formación multidisciplinaria de recursos humanos en ciencias: posgrados compartidos en la universidad. En: J. Labastida M. del C., et

al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

- BONFIL O., M. 1995. La segunda parte del código genético. En busca de las reglas que gobiernan el plegamiento de las proteínas. Información Científica y Tecnológica, vol. 17, núm. 224-225, mayo-junio, 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

BONILLA M., M., et al. 1995. Sistema de evaluación por pares en los proyectos de investigación y de fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XXI, núm. 122, mayo/junio de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

BONILLA, A. 1992. El cambio tecnológico y la apertura comercial: GATT y TLC. En: A. Chavero G. (coord.). La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

BRAVAL, L. 1982. Ingeniería genética. Revolución biológica. Información Científica y Tecnológica, vol. 4, núm. 63, 15 de febrero de 1982. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

BRAVO M., E. 1988. Biotecnología: ciencia, ética, subdesarrollo. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana. La Habana. Cuba.

- BRECEDA, M.G.; A. Chavero; et al. 1989. Ciencia y tecnología en México. Impacto, dependencia y perspectiva. Universidad Nacional Autónoma De México, Instituto de Investigaciones Económicas. México. D.F.

BRENNER, C. and J. Komen. 1994. International initiatives in biotechnology for developing country agriculture: promises and problems. Development Centre Technical papers Vol. II, No. 53. OECD Working Papers. París, Francia.

BRENNER, C. 1991. Biotechnology and developing country agriculture. The case of maize. Development Centre Studies. OECD. París. Francia.

---1991. Biotechnology in the developing word. Lessons from maize. The OECD Observed 171, august/september, 1991. París. Francia.

BROWN, C.M.; Campbell, I.; Priest, F.G. 1987. Introduction to biotechnology; Vol. 10 of basic microbiology. Blackwell Scientific Publications. Palo Alto, California, USA.

BUTTEL, F. H. 1989. Modern biotechnology: its prospective production and socioeconomic impact. En: L. Richard Meyer, editor. Innovation in resource

management. Proceeding of the Ninth Agriculture Sector Symposium. The World Bank. Washington, D.C.

- CALDERÓN, L.J. 1996. Se inaugura en Chiapas un centro de ingeniería genética. El Financiero, 16 de agosto de 1996. México, D.F.

CALLIS, J. 1992. Liberación de productos de tecnología ADNr en el medio ambiente sinopsis a 1989. En: Walter R. Jaffé y María E. Zaldivar (ed.). La regulación de la biotecnología con énfasis en la liberación al medio ambiente de organismos modificados genéticamente. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica.

CAMPOS, M. A. 1991. Problemática sociocultural de la ciencia. Sociológica, Año 6, Num., 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F.

---1992. Puntos críticos en el establecimiento de políticas científicas: el caso de la biotecnología. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

CANALES, A. 1993. La inversión privada en investigación científica. Universidad Futura, vol. 4, núm. 12, otoño 1993. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México, D.F.

CANTRELL, R.P. 1993. Avances de investigación en el mejoramiento genético del maíz. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

CÁRCAÑO M., M. 1993. Biofertilización en gramíneas. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

CÁRDENAS y E., R.A. 1991. Hechos en biotecnología. AGT Editor. México, D.F.

CARREÓN Z., M.A. 1994. La supervisión de plantas transgénicas: descripción de tendencias, requisitos y mecanismos en México. En: Walter R. Jaffé (editor). Armonización de la bioseguridad en el cono sur. Supervisión de plantas transgénicas. Programa de Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

CASALET, M. 1994. La formación profesional y técnica en México. Comercio Exterior, vol. 44, núm. 8, agosto de 1994. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

CASAS C., C. 1991. Biotechnología intermedia, alternativa para la explotación de recursos naturales. Sociológica, Año 6. Num. 16. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 229-238 pp.

CASAS, R. 1991. Las capacidades de investigación biotecnológica en México en el área agroalimentaria. Tendencias durante la década de 1990. Sociológica, Año 6, Num. 16. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 151-182 pp.

---1993. La investigación biotecnológica en México: Tendencias en el sector agroalimentario. Instituto de Investigaciones Sociales. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

CASTAÑEDA Y. 1991. Opciones biotecnológicas para la crisis de la agroindustria azucarera: melazas y proteína unicelular. Sociológica, Año 6, Num. 16. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 183-212 pp.

CEBREROS, A. 1991. La modernización del sector agropecuario: un cambio de paradigma. Comercio Exterior, Vol. 41. Núm. 10, octubre de 1991. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F. 911-917 pp.

CELAYA B., M. 1992. Política científica y tecnológica del Conacyt. En: A. Chavero G. (coord.). La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

CEPAL. 1982. Economía campesina y agricultura empresarial: tipología de productores del agro mexicano. Siglo Veintiuno Editores. México, D.F.

CERVANTES R., E. 1991. Agroecología vs biotecnología. Consideraciones sobre la polémica. Sociológica, Año. 6, Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F.

CEVALLOS, J. 1992. El impacto de la problemática tecnológica en la industria. En: A. Chavero G. (coord.). La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

Ciencia: Imperativa, una mayor capacidad. Investigación y Desarrollo (Suplemento de la Jornada), Año III, Número 25, junio de 1995. México, D.F.

CIESTAAM. 1995. Qué hacer hoy, para la agricultura mexicana del mañana. El Financiero, 9 de febrero de 1995. México, D.F.

CIMOLI, M. y G. Dosi. 1994. De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación. Comercio Exterior, vol. 44, núm. 8, agosto de 1994. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

CINVESTAV. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN-Unidad Irapuato, Coordinación Académica. Mayo de 1989.

COCKING, E.C. 1989. A protoplast approach to obtain transgenic rice plant and nodulation of rice plants by rhizobia. En: Mujeeb-Kazi, A. and L.A. Sitch (Eds.). Review of advances in plant biotechnology, 1985-1988; 2nd International Symposium of Genetic Manipulation in Crop. México, México, D.F., and Manila, Philippines; CIMMYT and IRRI.

COHEN, J.I. and J. Komen. 1994. International agricultural biotechnology programmes: Providing opportunities for national participation. En: AgBiotech News and Information, Vol. 6, No. 11, 1994. pp. 257N-267N.

- CONACYT. 1994. Datos del SNI. Investigadores vigentes y promoción 1994. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XX, núm. 119, noviembre/diciembre de 1994.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.
- 1995. Novedades y ofertas tecnológicas: Biotecnología. TecnoIndustria, núm. 20, febrero-marzo de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.
- 1995. Revisión de la política de ciencia y tecnología de México. TecnoIndustria, núm. 20, febrero-marzo de 1995. Sección Libros. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.
- 1996. Programa de Ciencia y Tecnología 1995-2000. El Financiero, 22 de abril de 1996. México, D.F.
- 1996. Suplemento de becarios del CONACYT. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.
- CONDE, R.; R.L.González y J. Wing. 1992. Las políticas de promoción de la ciencia y la tecnología: el caso de la biotecnología. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.
- CORBET, J. 1993. Identificación de zonas con potencial productivo para el maíz, metodología internacional. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

CORONA, J.M; G. Dutrenit y C.A. Hernandez. 1994. La interacción productor-usuarios: una síntesis del debate actual. Comercio Exterior, vol. 44, núm. 8, agosto de 1994. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

CORONA, L. 1992. La división internacional del trabajo y la revolución científico-técnica. En: A. Chavero G. (coord.). La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

CORREA, C. M. 1989. Biotechnología: el surgimiento de la industria y el control de la innovación. Comercio exterior, vol. 39, núm. 11, noviembre de 1989. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

---Políticas sobre el desarrollo biotecnológico en América Latina. En: W.R. Jaffé y M. E. Zaldivar (edit.). Formulación de políticas para el desarrollo de la biotecnología en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Programa de Generación y Transferencia de Tecnología. San José, Costa Rica.

CUBERO, J. I. 1993. Panorámica de la Agricultura a comienzos del siglo XXI. En: J. I. Cubero y M. T. Moreno (coord.). La agricultura del siglo XXI. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 15-31 pp.

CHAUVET, M. 1991. Biotecnología y rentas tecnológicas. Sociológica, Año 6, Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F.

CHAUVERO G., A. y D. M. Vergara R. 1991. Estadísticas de la investigación científico-tecnológica (origen, financiamiento y aplicación). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

CHEMICAL WEEK, August 18, 1993.

CHESNAIS, F. 1990. La biotecnología y la exportación de productos agrícolas en los países en desarrollo. Comercio Exterior, Vol. 40, Núm. 3, marzo de 1990. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F. 256-266 pp.

CHRISTIAN G., K. 1992. La revolución científico-técnica y América Latina, ¿alternativa o agravamiento de la crisis? En: R. Schwentesius R. y M. A. Gómez C. (comp.). Implicaciones del progreso tecnológico en la agricultura de países en desarrollo. Universidad Autónoma Chapingo, Humboldt Universität zu Berlin. Chapingo, México.

DART, P. 1989. Biotechnology for plant production: summary paper. En: L. Richard Meyer, editor. Innovation in resource management. Proceeding of the Ninth Agriculture Sector Symposium. The World Bank. Washington, D.C.

DAZA, C. 1990. El programa BIOLAC de la Universidad de las Naciones Unidas, con sede en Caracas. En: Walter Jaffé (editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: Implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 de agosto de 1989, Paipa, Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 32 pp.

DE IBARROLA, M. 1993. Comentarios a las políticas de formación de recursos humanos propuestos por la CEPAL-UNESCO. En: J. Labastida M. del C., et al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

---1992. Reseña del libro: Educación y conocimiento. Eje de la transformación productiva con equidad, CEPAL-UNESCO, Naciones Unidas, Santiago de Chile, 1992. Avance y Perspectiva, vol. 12, enero-febrero de 1993. CINVESTAV-IPN. México, D.F.

DE LA TORRE M., M. 1994. Biotecnología en China. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XX, núm. 119, noviembre/diciembre de 1994. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

Debe crearse el gabinete de ciencia y tecnología. Investigación y Desarrollo (Suplemento de la Jornada), año II, número 19, diciembre de 1994. México, D.F.

DÍAZ L., N. 1995. Ensayos de recombinación genética entre *Escherichia coli* y *Agrobacterium tumefaciens* en células vegetales. Tesis Profesional. Depto. de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 53 pp.

DÍAZ R., R. y M. Bravo. 1995. Los satanizados investigadores empresarios. TecnoIndustria, núm. 20, febrero-marzo de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

DIDRIKSSON, A. 1994. ¿Modernización en la ciencia y la tecnología? El Financiero, 30 de marzo de 1994. México, D.F.

DIETERICH S., H. 1994. La escuela cubana de biotecnología: la posibilidad de salir del subdesarrollo. Proceso, semanario de información y análisis; No 912, 25 de abril de 1994. CISA. México, D.F.

- DIRECCIÓN GENERAL DE SANIDAD VEGETAL. 1995. Biotecnología-investigación de nuevos productos. Boletín fitosanitario; Año 4, No. 34, agosto de 1995. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F.
- 1995. Biotecnología-investigación de nuevos productos. Boletín fitosanitario; Año 4, No. 33, julio de 1995. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F.
- 1995. Boletín fitosanitario; Año 4, No. 32, junio de 1995. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F.
- 1995. Biotecnología-investigación de nuevos productos. Boletín fitosanitario; Año 4, No. 30, abril de 1995. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F.
- 1995. Productos biotecnológicos agrícolas y su relación en México. Boletín fitosanitario; Año 4, No. 30, abril de 1995. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F.
- 1996. Informe anual de los Centros Regionales de Estudios y Reproducción de Organismos Benéficos. Avance anual 1995. Circulación restringida. Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F.
- DOEBLEY, J. 1990. Molecular evidence for gene flow among Zea species. Bioscience, vol. 40, No. 6, June 1990.

DOUZOU, P., et al. 1986. Las biotecnologías. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

DUTRENIT, G. 1994. Sistema nacional de innovación. Comercio Exterior, vol. 44, núm. 8, agosto de 1994. BANCOMEXT. México, D.F.

EASTMOND, A. 1989. El estado actual de la biotecnología vegetal en México: Análisis de las tendencias en investigación. En M. Muñoz R., V. Sánchez P., et al. (eds.). Primer Seminario Nacional sobre la Agroindustria en México. Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo, Programa Integración Agricultura-Industria. Chapingo, México.

EASTMOND, A, et al. 1992. Agrobiotechnology in México faces the challenge of the Free Trade Agreement. En: Biotechnology and development: expanding the capacity to produce food. Series: ATA-Advanced Technology Assessment System, No. 9. New York, USA; United Nations.

EASTMOND, A. 1992. Consideraciones sobre la aplicación de la biotecnología vegetal en el sureste de México. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

EFFORD, I. 1990. Capacidades en biotecnologías en América Latina y el Caribe: Un método de análisis. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

El centro de la investigación y mejoramiento de Maíz y el Trigo (CIMMYT). Sociológica, Año, 6, Num. 16, mayo- agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. pp. 239-244.

El I.P.N. realiza 699 investigaciones en ciencia y tecnología. La Jornada, 8 de enero de 1996. México, D.F.

ENCISO D., F.J. 1993. Experiencias mundiales sobre el extencionismo en la transferencia de tecnología. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993, Zapopan, Jal.

ENRÍQUEZ R., E. 1993. El maíz en México: Situación actual y perspectivas. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

ESPARZA G., F. 1991. Perspectivas de la biotecnología y la bioingeniería en México. Avance y Perspectiva, vol. 10, enero-marzo de 1991. México D.F. 69-73 pp.

ESPINOZA C., A. 1993. Tecnología de producción de maíz en México. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional. 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

FERNÁNDEZ-LARREA, V.O. 1995. Microorganismos entomopatógenos y antagonistas. Posibilidades de producción. Boletín Técnico No. 1, abril de 1995. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Cd. de la Habana, Cuba. 15 pp.

FERNÁNDEZ Z., J. L. 1995. Elementos de una cultura tecnológica. Investigación y Desarrollo; año III, Número 22, marzo de 1995. México, D.F.

FERRER, A. 1993. Nuevos paradigmas tecnológicos y desarrollo sostenible: perspectiva latinoamericana. Comercio Exterior, Vol. 43, Núm. 9, septiembre de 1993. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F. pp. 807-813.

- FLORES, J., R. López T. y J. C. Villa S. 1991. El gasto en ciencia y tecnología: puntos de partida de la modernización. Ciencia y Desarrollo, vol. XVII, núm. 97, marzo/abril de 1991. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.
- FLORKOWSKI, W. J. and Lowell D. H. Economic impacts for comercial applications of biotechnology in field-crop production. Bulletin 799. University of Illinois at Urbana Champaign College of agriculture, Agricultural Experiment Station. Urbana, Illinois.
- GARCÍA A., P. 1993. La propuesta de la CEPAL: Instrumento para el diseño de políticas educativas. En: J. Labastida M. del C., et al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- GARCÍA G., M. y A. Farrés. 1993. Impacto de la ingeniería genética en la biotecnología alimentaria. En: M. García G., R. Quintero R, A. López-Munguía C. Biotecnología alimentaria. LIMUSA, Noriega editores. México, D.F.
- GARCÍA S., S. y L. Lomnitz. 1991. Evaluación de la ciencia y la tecnología: ambigüedades y discrepancias. En: M.A. Campos y J.J. El sistema de ciencia y tecnología en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. México, D.F.

GARRIDO F., A. 1993. Papel de la biotecnología en el sistema agroalimentario: Situación presente y perspectivas futuras. En: J. I. Cubero y M. T. Moreno (Coord.). La agricultura del siglo XXI. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 189-211.

GARRIDO, C. 1995. TIPP. Un instrumento de desarrollo tecnológico. TecnoIndustria, núm. 20, febrero-marzo de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

GASTAL, E. 1990. El programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur (PROCISUR). En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 33 pp.

GHAYUR A. 1994. Biotechnology and sustainable agriculture: Lessons from India. OECD Working Paper, Vol. II, No. 87. París, Francia.

- GIDDINGS, L. V. 1991. Biotecnología y biodiversidad. Sociológica Año 6. Num. 16, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 273-304 pp.
- GILLILAND, M. W. Fixing biotechnologies in México. Environment, vol. 30. No. 3, April 1988.
- GOLDSTEN, Daniel I. 1989. Biotecnología, Universidad y Política. Siglo Veintiuno Editores. México, D.F.
- GÓMEZ C., M.A. y R.S. Rindermann. 1995. Impacto de la devaluación en el sector agropecuario: agudizamiento de la crisis agrícola. Primera parte. El Financiero, 27 de febrero de 1995. México, D.F.
- GÓMEZ L., M. 1996. Plátanos para vacunar humanos. Investigación y Desarrollo, año IV, número 32, enero de 1996. México, D.F.
- GONZÁLEZ H., V. A. y M. C. López P. (Edit). 1991 Simposio Actualidad de la biotecnología vegetal en México, (Resúmenes). Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. (SOMEFI). Chapingo, México.

GONZÁLEZ P., L. 1996. La IP se olvida de invertir en investigación: Conacyt. El Financiero, 26 de febrero de 1996. México, D.F.

- GOODMAN, M. M. 1993. Evolución genética del maíz. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

GRAU, O. 1990. La experiencia del programa regional de biotecnología de PNUD/UNESCO/ONUDI. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 32 pp.

GREENPEACE MÉXICO. 1996. Alimentos modificados genéticamente: el caso de la soya de Monsanto. Este País. Tendencias y opiniones, número 68, noviembre de 1996. DOPSA. México, D.F.

GUADARRAMA H., J. J. 1994. Para Comentar. El Financiero, 28 de febrero de 1994. México, D.F.

---1994. Para Comentar. El Financiero, 3 de octubre de 1994. México, D.F.

- 1995. Granos mejorados por ingeniería genética. El Financiero, 24 de enero de 1995.
México, D.F.
- 1995. Importante rezago en ciencia básica, dice Mauricio Fortes. El Financiero, 10 de febrero de 1995. México, D.F.
- 1995. México, listo para la biotecnología. El Financiero, 16 de octubre de 1995.
México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 10 de abril de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 12 de Junio de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 13 de febrero de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 13 de septiembre de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 16 de Octubre de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 18 de septiembre de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 19 de junio de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 23 de Octubre de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 24 de julio de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 26 de junio de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 27 de febrero de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 27 de noviembre de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 29 de mayo de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 30 de enero de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 30 de octubre de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 4 de septiembre de 1995. México, D.F.

- 1995. Para Comentar. El Financiero, 5 de junio de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 6 de marzo de 1995. México, D.F.
- 1995. Para Comentar. El Financiero, 7 de agosto de 1995. México, D.F.
- ---1995. Para Comentar. El Financiero, 7 de agosto de 1995. México, D.F.
- 1995. CIT, opción tecnológica para el sector productivo del país. El Financiero, 10 de julio de 1995. México, D.F.
- 1995. México, amplio mercado para los centros de investigación. El Financiero, 7 de mayo de 1995. México, D.F.
- 1995. Urge a México un programa de desarrollo tecnológico. El Financiero, 16 de febrero de 1995. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 19 de febrero de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 20 de mayo de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 28 de octubre de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 03 de junio de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 02 de septiembre de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 15 de febrero de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 22 de abril de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 26 de febrero de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 29 de abril de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 29 de enero de 1996. México, D.F.
- 1996. Para Comentar. El Financiero, 8 de julio de 1996. México, D.F.

GUADARRAMA S., R. 1992. La propiedad intelectual y la biotecnología. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

GUERRA E., G. 1993. América Latina: La empresa agropecuaria ante la modernización. Comercio Exterior, vol. 43, núm. 4, abril de 1993. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

GUILLÉN A., H. 1993. Marcadores genéticos y el fitomejoramiento en maíz. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

GUZMÁN P., L. C. 1996. Bioinsecticidas made in México. Investigación y Desarrollo, número 34, año IV, marzo de 1996. México, D.F.

HEMMING, D. 1995. Molecular farming: using transgenic plants to produce novel proteins and other chemicals. AgBiotech News and Information, Vol. 7, No. 1, 1995. pp. 19N-29N.

HERNÁNDEZ, G. 1994. Debe el sector agroalimentario integrar nuevas tecnologías. El Financiero, 23 de agosto de 1994. México, D.F.

HERNÁNDEZ S., A. y A. Salazar Z. 1993. Investigación básica y su aplicación en el mejoramiento genético de los cultivos. Agrociencia, serie Fitociencia, vol. 4, núm. 2, abril-junio 1993. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 87-99 pp.

HINKE, N. 1995. Declaración sobre la protección del genoma humano. Ciencias, núm. 37, enero-marzo de 1995. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

HOISINGTON, D. 1996. Conocimientos actuales en relación con la transformación del maíz. En: Serratos, J.A.; M.C. Willcox y F. Castillo (eds.). Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. CIMMYT. México, D.F.

IBARRA R., J.E. 1996. La biotecnología en el manejo integrado de plagas agrícolas. En Memoria de la Tercera Asamblea Anual del CONACOFI, 16 y 17 de noviembre de 1995, Chapingo, Edo. de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario, Montecillo, México.

Ignoran empresas las ventajas de la biotecnología. El Financiero, 24 de enero de 1995. México, D.F.

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA-UNAM. 1992. Informe. Cuernavaca, Morelos.

- ITA No 9-ITESM. 1993. Memorias: Diplomado de biotecnología aplicada a la agricultura. SEP, DGETA, ITA No 9; Centro de Desarrollo Biotecnológico del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Miakatlan, Morelos.

JAFFÉ, W. (Editor). 1990. Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 de agosto de 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

---1993. La agrobiotecnología comercial en América Latina y el Caribe. Estrategias empresariales y políticas para su desarrollo. Programa de Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

--- y E. J. Trigo. 1994. La agrobiotecnología en América Latina y el Caribe: elementos para estrategias nacionales. Comercio Exterior, vol. 44, núm. 7, julio de 1994. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

JIMÉNEZ E., A. 1995. ¡Ah, las incubadoras de empresas! Investigación y Desarrollo (Suplemento de la Jornada), año III, número 22, marzo de 1995. México, D.F.

- JIMÉNEZ S., L. 1993. Perspectivas de la biotecnología en el desarrollo rural en México.
En: Ronald Ferrera Cerrato y Roberto Quintero Lizaola(Editores). Agroecología sostenibilidad y. educación. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 245-265 pp.

JIMÉNEZ, J.M. 1994. Maíz libre de plagas con métodos genéticos. Agrovisión, Revista de la Sociedad Rural Mexicana; año 1, No 7, febrero de 1994. Multijuegos Didácticos. México, D.F.

JOHNSON, B. y Bengt-Ake L. 1994. Sistemas nacionales de innovación y aprendizaje institucional. Comercio Exterior, vol. 44, núm. 8, agosto de 1994. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

JUARISTI, E. 1994. El sistema español como un posible modelo para el desarrollo científico y tecnológico futuro de México. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XIX, núm. 114, enero/febrero de 1994. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

KENNEY, M. 1992. Propiedad intelectual, biotecnología y desarrollo internacional. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

KERRI W. P. and Michael P. 1992. Biotechnology and the developing world. Finance & Development, march 1992.

KINGSBURY, D.T. 1992. La biotecnología en la década de los 90: Tendencias generales en la ciencia y la industria. En: Walter R. Jaffé y María E. Zaldivar (ed.). la regulación de la biotecnología con énfasis en la liberación al medio ambiente de organismos modificados genéticamente. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

KLEESE, R.A. 199. El impacto de la biotecnología en la productividad de la agricultura. Sociológica, Año. 6, Num. 16. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 255-272 pp.

KLEIN, K. 1990. Impacto de las biotecnologías sobre los agrosectores de América Latina y el Caribe: Una evaluación preliminar. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y

estrategias"; 14-17 de agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 27-29 pp.

KLEIN, K. et al. 1991. Repercusiones de la biotecnología en el sector agropecuario de los países de América latina y el Caribe. Una propuesta metodológica. En: Walter R. Jaffé, (editor). Análisis de impactos de las biotecnologías en la agricultura: Aspectos conceptuales y metodológico. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Serie Publicaciones Misceláneas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 79-123 pp.

KUMAR, N. 1988. Biotechnology revolution and the third world: an overview. En Biotechnology revolution and the third world (challenges and policy options). Research and Information System for the Non-Aligned and Other Developing Countries. New Delhi, India.

L. ROBERT, M.; M. Arce M. y A. Eastmond. 1993. Biotecnología vegetal. En: M. García G., R. Quintero R, A. López-Munguía C. Biotecnología alimentaria. LIMUSA, Noriega editores. México, D.F.

La biotecnología en Asia sur-oriental. Sociológica, Año. 6 Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 245- 254 pp

LIEBERMAN, E. 1996. La investigación científica y tecnológica y sus frutos. Tercera y última parte. El Financiero, 8 de julio de 1996. México, D.F,
---1996. La investigación científica y tecnológica y sus frutos. Segunda parte. El Financiero, 3 de julio de 1996.

Lineamientos para una política tecnológica e industrial. Investigación y Desarrollo, año III, número 21, febrero de 1995. México, D.F.

LÓPEZ P., M.A. 1993. El cambio tecnológico en maíz: una perspectiva global. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

LÓPEZ S., P. 1995. ¿Plantas que resucitan? Investigación y Desarrollo (Suplemento de la Jornada), año III, número 21, febrero de 1995. México, D.F.

LÖRZ, H. 1989. In vitro manipulation of cereal crops. En: Mujeeb-Kazi, A. and L.A. Sitch, Eds. Review of advances in plant biotechnology, 1985-1988; 2nd

International Symposium on Genetic Manipulation in Crop; México, D.F., México, and Manila, Philippines: CIMMYT and IRRI.

- Los insumos ya no son ventaja. El Financiero, 17 de febrero de 1995. México, D.F.

LUNA F., M. 1993. Mejoramiento genético de maíz para condiciones adversas. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

MADRIGAL L., R. 1994a. Biotechnología para la agroindustria tequilera. Agrovisión, Revista de la Sociedad Rural Mexicana; año 1, No 6, enero de 1994. Multijuegos Didácticos. México, D.F.

---1994b. Transferencia de genes. Agrovisión, Revista de la Sociedad Rural Mexicana; año 1, No 12, julio de 1994. Multijuegos Didácticos. México, D.F.

---1994c. Propagación *in vitro* de la palma de coco. Agrovisión, Revista de la Sociedad Rural Mexicana; año 1, No 7, febrero de 1994. Multijuegos Didácticos. México, D.F.

MAITLAND, A. 1996. Eu threat to bar US maize. Financial Times, septiembre 1996. USA.

MALO, S. 1993. Las nuevas políticas y las estrategias en materia de ciencia y tecnología. En: J. Labastida M. del C., et al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

MÁRQUEZ S., F. 1993. Mejoramiento genético de maíces criollos mediante retrocruza limitada. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

MARTIN, M.A. and B.R. Baumgardt. The origins of biotechnology and its potential for agriculture. En: Bau Mgorat and M.A. Martin. Agricultural biotechnology. Issues and choices. Purdue University Agricultural Experiment Station, West Lafayette, Indiana.

MARTÍNEZ, F. y G. Aboites. 1991. Estado, protección legal y diversidad fitogenética. Sociológica, Año 6, Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F.

MARX, J. L. 1988. Foreign gene transferred into maize. Research News, 8 april, 1988.

MASSIEU T., Y. 1991. ¿Revolución de la biotecnología o tercera recolección agrícola? de Pierre-Michel Rosher. Sociológica, Año. 6, Num 16. Universidad Autónoma

Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 381-385 pp.

---1991. Plaguicidas y biotecnología: el poder multinacional. Sociológica, Año 6, Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 129-150 pp.

MATUS G., J.A.; A. Puente G. and C. López P. 1990. Biotechnology and developing country agriculture: maize in México. Development Centre, Serie Technical Papers. OECD. París, Francia.

MÉNDEZ R., I. 1991. Relaciones entre investigación científica e investigación tecnológica. En: M.A. Campos y J.J. El sistema de ciencia y tecnología en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. México, D.F.

MENDOZA de G., E. 1994. Agrobiotecnología. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.

MESTRIES, F. 1990. Los posibles impactos de la biotecnología en la agricultura mexicana. Sociológica, Año 5, Núm. 13, mayo-Agosto de 1990. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología, México, D.F.

MICHELI, J. 1995. Hacia una nueva política tecnológica. TecnoIndustria, núm. 20, febrero-marzo de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

MIER, T. y C. Toriello. 1994. Hongos microscópicos para el control de plagas agrícolas. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XIX, núm. 114, enero/febrero de 1994. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

MORENO P., F. 1995. Descentralizar la ciencia. Investigación y Desarrollo, Año III, Número 26, julio de 1995. México, D.F.

NAVARRO, G., H. 1993. Estrategias socioeconómicas de los productores de maíz y alternativas de desarrollo. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

NIEVES, J.M. 1994. Agrobiotecnología. Agricultura del futuro. Muy Interesante, especial No. 10: Biotecnología. Provenemex. México, D.F.

NIEVES O., F. 1996. Comunicación personal. México, D.F.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-056-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y

establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética. Diario Oficial de la Federación, 11 de julio de 1996. México, D.F.

OCDE. 1993. Biotecnología, agricultura y alimentación. versión española de J. M. Mateo Box. OCDE-Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

---1989. Biotechnologie. Effets économiques et autres répercussions. OECD. París, Francia.

---1995. Biotechnology and sustainable agriculture: The case of México. OECD working paper, Vol. III, No. 5. París, Francia.

OFFUT, S.E. and F. Kuchler. 1987. Issues and developments in biotechnology: What's an economist to do? Agricultural Economics Research, vol. 39, No 1, winter 1987.

OJANGUREN, S. 1995. El desafío de la ciencia en su tiempo y circunstancia. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XXI, núm. 122, mayo/junio de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

ONU. 1992. Monthly bulletin of statistic. New York, USA.

ORDOÑEZ, H. 1995. Recibirá el IMPI más de 10,000 solicitudes en 1995. El Universal, 15 de junio de 1995. México, D.F.

- ORTEGA, M. D. 1993. Semillas artificiales. En: J. I. Cubero y M. T. Moreno (Coord.). La agricultura del siglo XXI. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 173-187 pp.

ORTIZ V., M. 1993. Identificación de zonas con potencial productivo para el maíz. Metodología nacional. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

OTERO, G. 1990. Análisis de impactos de las biotecnologías en la agricultura: aspectos conceptuales y metodológicos. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 de agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 23-26 pp.

---1992. Agricultura, Biotecnología e integración norteamericana. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

- OTTONE, E. 1993. La propuesta de la CEPAL-UNESCO: Educación y conocimiento. Eje de la transformación productiva con equidad. En: J. Labastida M. del C., et al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- PACHECO, V. 1996. Modernización tecnológica. El Financiero, 28 de octubre de 1996. México, D.F.
- PAMPIN, B. R. 1987. Curso Metodología de las investigaciones económicas. Dpto. de Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- PANCHAMUKHI, V.R. and N. Kumar. 1988. Impact on commodity exports. En Biotechnology revolution and the third world (challenges and policy options). Research and Information System for the Non-Aligned and Other Developing Countries. New Delhi, India.
- PAREDES L., O. 1986. La biotecnología de plantas: una herramienta estratégica en los programas agroalimentarios de México. Ciencia y Desarrollo; Año XII, Num. 68, mayo-junio de 1986. CONACYT. México, D.F. 27-42 pp.
- 1990. Retos y oportunidades de la biotecnología agroalimentaria. Comercio Exterior, vol. 40, núm. 12, diciembre de 1990. BANCOMEXT. México, D.F. 1143-1152 pp.

- PAYNE, J. 1996. La reglamentación para las plantas transgénicas: la experiencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) en las pruebas de campo, la producción en gran escala y la evaluación para su liberación en los centros de origen. En: Serratos, J.A.; M.C. Willcox y F. Castillo (eds.). Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. CIMMYT. México, D.F.
- PELSY, G. 1991. El sector agroalimentario, un núcleo privilegiado de las biotecnologías. Sociológica, Año. 6, Num. 16. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F.
- PERSLEY, G. J. 1990. Beyond Mendel's garden biotechnology in the service of world agriculture. CAB International. Wallingford, Reino Unido (Inglaterra).
- PHILLIPS G., A. 1995. Una política educativo-empresarial. Investigación y Desarrollo, Año III, Número 27, agosto de 1995. México, D.F.
- PIÑEIRO, et al. 1982. Articulación social y cambio técnico. La producción de azúcar en Colombia. Serie Investigación y Desarrollo # 7. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

PORCEDDU, E. y Oronzo A. T. 1993. Perspectivas y papel de la mejora genética en la agricultura del siglo XXI. En: J. I. Cubero y M. T. Moreno (Coord.). La Agricultura del siglo XXI. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.. 161-171 pp.

Primer Congreso Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal. Programa y resúmenes; 16-18 de marzo de 1994. Facultad de estudios Superiores de Cuautitlan; Asociación Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal, A.C. México, D.F.

Protestarán en Europa contra el frijol de soya alterado genéticamente. El Financiero, 6 de noviembre de 1996. México, D.F.

Proyecto “Maíz Hoc”, una mina de oro para Du Pont. El Financiero, 24 de enero de 1995. México, D.F.

PUENTE G., A. 1993. Competitividad y ventajas comparativas en la producción de maíz en México. Resultados parciales para el ciclo agrícola 1991. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

- QUINTERO R., R. 1985. Prospectiva de la biotecnología en México. CONACYT. México, D.F.
- 1993. La biotecnología moderna y el campo mexicano. En: J.L. Calva (Coord.). Alternativas para el campo mexicano. Tomo II. UNAM-PUAL, Friedrich Ebert Stiftung. Ed. Fontamara. México, D.F.
- 1992. Situación de la nueva biotecnología y su regulación en México. En . Walter R. Jaffé y María E. Zaldivar (ed.). La regulación de la biotecnología con énfasis en la liberación al medio ambiente de organismos modificados genéticamente. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 225-226 pp.
- 1993. Prospectiva de las agrobiotecnologías. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Serie Documentos de Programas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica.
- 1990. Prospectiva de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 de agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 15-20 pp.

RATLEDGE, C. 1992. Biotechnology: the socio-economic revolution? A synoptic view of the world status of biotechnology. En: E.J. Dasilva, C. Ratledge and A. Sasson. Biotechnology economic and social aspects. Cambridge University Press-UNESCO. Gran Bretaña.

RILEY, Sir R. 1989. Using biotechnology in international research for development. En: Mujeeb-Kazi, A. and L.A. Sitch, Eds. Review of advances in plant biotechnology, 1985-1988; 2nd International Symposium on Genetic Manipulation in Crop; México, D.F., México, and Manila, Philippines: CIMMYT and IRRI.

RÍOS A., L. 1993. Transformación científica y tecnológica, factores claves para lograr competitividad. UNOMASUNO, 10 de mayo de 1993. México, D.F.

RIVAS A., O. 1993. La ley de protección vegetal y las patentes: el caso de México. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

RIVAS, N. 1990. El Programa Cooperativo de Investigación Agrícola de la Región Andina. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias"; 14-17 de

agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 34 pp.

RIVERA, M.A. 1995. Ciencia y tecnología en la emergencia económica. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XXI, núm. 122, mayo/junio de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

ROCHA A., L. 1995. Intermediarios tecnológicos. Investigación y Desarrollo, Año III, Número 27, agosto de 1995. México, D.F.

RODRÍGUEZ C., D. 1992. Revolución científico-técnica y biotecnología. En: A. Chavero G. (coord.). La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

RODRÍGUEZ Ch., D. 1992. La biotecnología en la reestructuración productiva actual. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

ROTH, M.J. 1993. Experiencias internacionales sobre patentes en maíz. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

ROTMAN, D. and E. Chynoweth. 1993. Agchem Producer sow plans for a rich harvest.

Chemical Week, august 18, 1993.

- ---and P. Fairley. 1995. Plant biotech. Transgenic crops head to market. Chemical Week, September 27, 1995.

RUBIO, B. 1994. Crecimiento acumulado de 80% en investigación científica.

UNOMASUNO, 2 de mayo de 1994. México, D.F.

RUBIO, B. 1991. Desarrollo del capital en la agricultura mexicana y biotecnología:

hacia un nuevo patrón de acumulación. Sociológica, Año 6, Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F.

SABATO, J.A. y M. Mackenzie. 1982. La producción de la tecnología. Autónoma o

transnacional. Instituto Latinoamericano de Estudios Transnacionales-Editorial Nueva Imagen. México, D.F.

SALDAÑA, J.J. 1995. la historia de la ciencia y de la tecnología mexicana y la

modernización. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XXI, núm. 122, mayo/junio de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

SALINAS O., A. 1992. Tecnología y agroindustria de alimentos en México. Tendencias actuales y repercusiones sobre los pequeños productores. En: A. Chavero G. (coord.). La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

SASSON, A. 1984. Las biotecnologías: desafíos y promesas. UNESCO. París, Francia.
---1988. Promise in agriculture food and energy. En Biotechnology revolution and the third world (challenges and policy options). Research and Information System for the Non-Aligned and Other Developing Countries. New Delhi, India.

SCROWCROFT, W.R. 1989. Biotechnology: the role of the private sector. En: L. Richard Meyer, Editor. Innovation in resource management. Proceeding of the Ninth Agriculture Sector Symposium. The World Bank. Washington, D.C.

SCHWENDIMAN, J. et. al. 1994. CIRAD and biotechnology. AgBiotech News and Information, Vol. 6, No. 11, 1994. 269N-272N pp.

SEGURA M., A. Biotecnología aplicada a vegetales en Japón. Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Parasitología Agrícola. Chapingo, México.

SEPÚLVEDA G., I. 1992. El cambio tecnológico en el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- SERRATOS H., J.A. 1996. Normas de seguridad para experimentación con plantas transgénicas. Memoria de la Tercera Asamblea Anual del CONACOFI, 16 y 17 de noviembre de 1995, Chapingo, Edo. de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Montecillo, México.

SERDY, F. S. 1994. Las experiencias de Monsanto con pruebas de campo en América Latina y recomendaciones para los aspectos reglamentarios. En: Walter R. Jaffé (editor). Armonización de la bioseguridad en el cono sur. Supervisión de plantas transgénicas. Programa de Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

SERNA S., S.O. 1995. China: líder mundial en producción de granos básicos. Misión de científicos mexicanos a la República Popular China. Parte III. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XX, núm. 120, enero/febrero de 1995. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

SERVÍN M., M. 1992. Ciencias de la vida. Bioindustria y sociedad. En: A. Chavero G. (coord.). La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones.

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas. México, D.F.

- SMART, T. and Reginald Rhein Jr. 1988. Top of the news. Business Week, april 18, 1988.

SOLORZANO V., D.E. 1992. Biotechnología tendencia mundial y aplicaciones en la agricultura (reseña bibliográfica). AGROCIENCIA, Serie FITOCIENCIA, vol. 3, núm. 3, julio-septiembre de 1992. Colegio de postgraduados. Montecillo, México.

SOLLEIRO, J. L. y R. Quintero. 1993. Prioridades de investigación y desarrollo en biotecnología agroalimentaria. CIT-UNAM-IDRC-CANADA. México, D.F.

---et. al. 1993. La innovación tecnológica en la agricultura mexicana. Comercio Exterior, Vol. 43, Num. 4, abril de 1993. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F. 353-369 pp.

---R.L. González y S. Almanza. 1992. Importancia de la reflexión prospectiva en el desarrollo biotecnológico. En: R. Casas, M. Chauvet, D. Rodríguez (Coords.). La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-UNAM. México, D.F.

SONDAHL, M.R. y Miller, P. 199. Breve revisión de algunos temas de la ingeniería genética de plantas. En: Walter R. Jaffé y María E. Zaldivar (ed.). La regulación de la biotecnología con énfasis en la liberación al medio ambiente de organismos modificados genéticamente. Programa II: Generación y Trasferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 81-86 pp.

SOTO, L. 1994. Acciones y Reacciones. El Financiero, 8 de noviembre de 1994. México, D.F.

---1995. Acciones y Reacciones. El Financiero, 9 de febrero de 1995. México D.F.

---1995. Acciones y Reacciones. El Financiero, 10 de febrero de 1995. México D.F.

SWAMINATHAN, M.S. 1988. Biotechnology and sustainable agriculture. En Biotechnology revolution and the third world (challenges and policy options). Research and Information System for the Non-Aligned and Other Developing Countries. New Delhi, India.

---1989. Genetic manipulation in crops scientific, social, economic, and ethical implications. En: Mujeeb-Kazi, A. and L.A. Sitch, Eds. Review of advances in plant biotechnology, 1985-1988; 2nd International Symposium on Genetic Manipulation in Crop; México, D.F., México, and Manila, Philippines: CIMMYT and IRRI.

TABA, S. 1993. Recursos genéticos de maíz en el mundo. En: Memorias del Primer Simposium Internacional, Cuarto Nacional, 16-19 de marzo de 1993. Zapopan, Jal.

TAMAYO, E. 1994. Cruzas amplias y mejoramiento de trigo. Información Científica y Tecnológica; Vol. 16, Núm. 214, julio de 1994. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F. 32-36. pp.

Tecnología: a la IP le corresponde la mejora. Investigación y Desarrollo, Año III, Número 25, junio de 1995. México, D.F.

TEJADA M. 1990. El programa Andino de Biotecnología de la Corporación Andina de Fomento. En: Walter Jaffé (Editor). Síntesis de sesiones y conclusiones del seminario "Perspectivas e impactos generales de las agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe: implicaciones políticas y estrategias; 14-17 de agosto, 1989, Paipa Colombia. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 31 pp.

TELLEZ K., L. 1994. La modernización del sector agropecuario y forestal. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

TERESKO, J. 1993. Technology out of the lab into reality. Industry Week, January 18, 1993.

- TIRADO J., R. 1994. La innovación tecnológica en la industria informática y las telecomunicaciones en México. Comercio Exterior, vol. 44, núm. 8, agosto de 1994. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

TODD, L. E. 1994. La importancia del capital humano. El Universal, 12 de octubre de 1994. México, D.F.

TOENNIESSEN, G. H., R.W. Herdt and L.A. Sitch. 1989. Rockefeller foundations international network on rice biotechnology. En: Mujeeb-Kazi, A. and L.A. Sitch, Eds. Review of advances in plant biotechnology, 1985-1988; 2nd International Symposium on Genetic Manipulation in Crop; México, D.F., México, and Manila, Philippines: CIMMYT and IRRI.

TORRES C., R. 1991. Perspectivas de las nuevas biotecnologías para los sistemas de agricultura campesina. En Walter R. Jaffé (editor). Análisis de impacto de las biotecnologías en la Agricultura: Aspectos conceptuales y metodológicos. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Serie Publicaciones Misceláneas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 53-78 pp.

TRIGO, E. J. s/a. La participación del sector privado en la investigación agropecuaria:

Notas y comentarios. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica.

VALVERDE, M.E. y O. Paredes L. 1996. El uso de marcadores moleculares en el estudio de la biodiversidad. El caso de los hongos. Ciencia y Desarrollo, nueva época, vol. XXII, núm. 128, mayo/junio de 1996. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F.

VÁZQUEZ P., R. 1993. El conocimiento, factor clave de la producción. UNOMASUNO, 5 de agosto de 1993. México, D.F.

VÁSQUEZ T., H. 1995. El extinto IMIT y la política de desarrollo tecnológico de México. El Financiero, 3 de julio de 1995. México, D.F.

VEGA, F.E. y J. Trujillo A. 1989. Biotechnología agrícola, espejo de la revolución verde. Comercio Exterior, vol. 39, núm. 11, noviembre de 1989. BANCOMEXT. México, D.F. 947-952 pp.

VELÁZQUEZ, I. 1991. Algunos impactos de la biotecnología en el café. Sociológica, Año 6, Num. 16, mayo-agosto de 1991. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Dpto. de Sociología. México, D.F. 213-228 pp.

VERA-CRUZ, A, et al. 1994. El subsistema nacional de innovación en biotecnología: el papel de los centros de investigación en México. Comercio Exterior, Vol. 44, Núm. 8, agosto de 1994. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F. 705-715 pp.

VIDAVER, A. K. 1992. Pruebas de campo de organismos genéticamente modificados: Marco para la toma de decisiones. Revisión y comentarios. En: Walter R. Jaffé y María E. Zaldivar (ed.). La regulación de la biotecnología con énfasis en la liberación al medio ambiente de organismos modificados genéticamente. Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

VILLA S., J.C. 1995. Impulsar la difusión de la ciencia para integrarla a la sociedad. La Jornada, 13 de febrero de 1995. México, D.F.

VILLEDA, C. 1994. Biotecnología en México. Muy Interesante, especial No 10: Biotecnología. Provenemex. México, D.F.

VILLEGAS de G., A. 1996. Biotecnología intermedia en México. La producción de hongos comestibles. CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 107 pp.

VINIEGRA G., G. 1990. Análisis de algunos impactos de la biotecnología en el medio rural. En: José Luis Calva (Coord.). Memoria del VIII seminario sobre economía agrícola del tercer mundo. Situación y perspectivas de la agricultura y la alimentación en el tercer mundo. Programa Universitario de Alimentos; Instituto de Investigaciones Económicas; Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 305-310 pp.

VONDER O., A. 1993. El CGIAR: Retos actuales y futuros. En: J. I. Cubero y M. T. Moreno (Coord.). La agricultura del siglo XXI. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 225-242 pp.

WHITE, E. 1989. Políticas e instrumentos para el desarrollo de las nuevas tecnologías en América Latina. Comercio Exterior, vol. 39, núm. 11, noviembre de 1989. Banco Nacional de Comercio Exterior. México, D.F.

WINKELMANN, D. L. 1993. La revolución verde: Sus orígenes, repercusiones, críticas y evolución. En: J. I. Cubero y M. T. Moreno (Coord.). La agricultura del siglo XXI. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

WOOD, M. 1990. Corn aids wheat's genetic engineers. Agricultural Research, august, 1990.

WOOD, M. 1994. Powerful promoter speeds genetic engineering test. Agricultural Research, january, 1994.

YACAMÁN, M.J. 1993. La formación de recursos humanos para la ciencia. En: J. Labastida M. del C., et al. (coord.). Educación, ciencia y tecnología. Los nuevos desafíos para América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

ANEXOS



SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y DESARROLLO RURAL
DIRECCION GENERAL DE SANIDAD VEGETAL
SOLICITUD DE LIBERACION, IMPORTACION Y/O MOVILIZACION BAJO LA
NOM -056-FITO-1995
ORGANISMOS MANIPULADOS MEDIANTE LA APLICACION DE INGENIERIA GENETICA

1. NOMBRE Y DIRECCION DE LA EMPRESA O INSTITUCION SOLICITANTE .												
2. TELEFONO		FAX:										
3. TIPO DE ACTIVIDAD REQUERIDA: ☐ Movilización interestatal ☐ Importación ☐ Liberación al medio ambiente ☐ Importación y liberación ☐ Movilización y liberación	4. ESTA SOLICITUD ES: ☐ Nueva ☐ Extensión	5. MEDIOS DE MOVILIZACION ☐ Correo ☐ Paquetería ☐ Transporte con un propio, nombre de la persona _____ _____ ☐ Otro, especifique _____ _____ _____										
6. COMPLETAR: <table border="0" style="width:100%"><tr><td style="width:33%; text-align: center;">Nombre científico</td><td style="width:33%; text-align: center;">Nombre Común</td></tr><tr><td colspan="2">A. Organismo donador</td></tr><tr><td colspan="2">B. Organismo receptor</td></tr><tr><td colspan="2">C. Agente Vector</td></tr><tr><td colspan="2">D. Organismo transgénico</td></tr></table>			Nombre científico	Nombre Común	A. Organismo donador		B. Organismo receptor		C. Agente Vector		D. Organismo transgénico	
Nombre científico	Nombre Común											
A. Organismo donador												
B. Organismo receptor												
C. Agente Vector												
D. Organismo transgénico												
7. CUANTIFICACION TOTAL DEL ORGANISMO MANIPULADO A: Importar _____ No. introducciones _____ Liberación _____		8. FECHA DE IMPORTACION O MOVILIZACION INTERESTATAL										
9. PAIS Y ESTADO DE ORIGEN DEL ORGANISMO MANIPULADO		10. DESTINO FINAL DE LA IMPORTACION, MOVILIZACION O LIBERACION.										
11. VER AL REVERSO LA INFORMACION QUE COMPLETA LA PRESENTE SOLICITUD: Nota: La información proporcionada puede ser verificada por integrantes del Comité de Bioseguridad Agrícola												
12. FIRMA DEL RESPONSABLE	13. NOMBRE Y CARGO QUE OCUPA EN LA EMPRESA:	14. FECHA										

PARA SER LLENADO POR LA DIRECCION GENERAL DE SANIDAD VEGETAL

Información completa: ☐ Si ☐ No	Fecha de recepción de la solicitud:	Fecha de inicio del análisis de la solicitud:
Fecha de Expiración:	Certificado y/o requisitos fitosanitarios concedidos : ☐ Si ☐ No	Firma de la DGSV:
Fecha de notificación al Gobierno del Estado:	Fecha de notificación a la Delegación Estatal:	

PARTE A. DATOS GENERALES DEL SOLICITANTE ¹	INCLUIDO
A.1 Nombre, dirección particular, número telefónico, número de cédula profesional y curriculum de la persona que conduce la prueba de campo.	
A.2 Nombre, dirección y número telefónico de otras personas involucradas en los ensayos de campo.	
A.3 Nombres científicos, comunes, comerciales y todas las designaciones para identificar el o los organismos receptores, agentes vectores empleados en la construcción de cada producto manipulado.	
A.4 Nombre, dirección y número telefónico de la(s) persona(s) que haya(n) desarrollado o facilitado el producto.	
PARTE B. MOVILIZACION Y/O IMPORTACION ²	
B.1 Descripción del envase o empaque que se usará para movilizar el producto.	
B.2 La cantidad del producto manipulado a movilizar, el calendario propuesto de movilización y/o importación.	
B.3 Descripción del material biológico (p.e. medio de cultivo) que acompaña al producto manipulado durante su movilización y una descripción detallada del método que se empleará para su destrucción.	
B.4 La ruta de movilización del producto manipulado, incluyendo una descripción del lugar de origen, destino propuesto, destinos intermedios y destinos finales.	
B.5 Descripción del procedimiento y medidas de bioseguridad que deben ser utilizadas para prevenir el escape y diseminación del producto manipulado durante su movilización.	
PARTE C. INFORMACION ESPECIFICA DEL PRODUCTO TRANSGENICO ³	
C.1 El objetivo o propósito de la introducción, movilización y/o liberación al medio ambiente del producto transgénico.	
C.2 Descripción del material antes de la modificación genética, la cual incluya cuando se trate de organismos de origen vegetal: ciclo de vida con énfasis especial sobre autocruzas, polinización, habitat, especies silvestres y distribución de estas, mecanismos y frecuencia de autocruzas con miembros de la especie y especies filogenéticamente cercanas; y cuando se trate de organismos de origen microbiano: ciclo de vida, características de patogenicidad, hospederos, descripción de etapas de desarrollo (inóculo, tipos de inóculo, penetración...etc) diseminación, invernación e interacción con otros microorganismos.	
C.3 Descripción de las características genéticas del organismo donador, organismo receptor y vector; así como el país y localidad donde el producto manipulado fue colectado desarrollado o producido.	
C.4 La descripción de la modificación actual o anticipada conferida por el material genético incorporado en el producto manipulado y de como dicha modificación difiere del organismo no modificado. Anexar mapas de dicha construcción genética.	
C.5 Descripción detallada de la biología molecular del sistema (p.e. donador-receptor-vector) que sustenta la obtención del producto manipulado.	
C.6 Declaración sobre la existencia del impacto potencial en el medio ambiente que se pueda derivar de la liberación del producto.	

PARTE C. INFORMACION ESPECIFICA DEL PRODUCTO TRANSGENICO ³	
C.7 Debe señalarse detalladamente el diseño experimental propuesto para la liberación al medio ambiente y sistema de producción.	
C.8 Cantidad total del producto manipulado genéticamente que se va a liberar y qué cantidad se utilizará para cada ensayo en caso de que se establezcan varios. Elaborar un calendario en el que se indiquen las prácticas agronómicas (p.e. siembra, transplante) y ensayos propuestos.	
C.9 Anexar un mapa del sitio del ensayo indicando localización geográfica y la localidad exacta donde se establecerán los ensayos del producto transgénico, tomando en cuenta lo siguiente: -Cuando varias construcciones genéticas sean probadas en diferentes localidades, indicar cuales construcciones son probadas para cada sitio. -Cuando varios ensayos son aplicados para la misma localización, indicar la localidad específica para cada ensayo. -Describir los usos que ha tenido o tienen los terrenos aledaños y el lugar donde se establecerán los ensayos. En caso de productos transgénicos de origen vegetal anexar un listado y descripción de las especies tanto silvestres como cultivadas filogenéticamente relacionadas a la planta que pudieran ser receptores de polen transgénico. -Especificar cuales son las dimensiones y área que ocupan los ensayos (no incluyendo bordes e hileras de material no modificado genéticamente). Así como descripción de los lugares de distribución del organismo manipulado (p.e. invernadero, laboratorio, cámaras de crecimiento).	
C.10 Detallar los procedimientos y medidas de bioseguridad que se usarán para prevenir la contaminación, escape y diseminación sin control del producto manipulado.	
C.11 Descripción detallada del método propuesto de disposición final del material transgénico al término del experimento, así como la disposición final o limpieza de otros materiales que hayan tenido contacto con el material transgénico durante el ensayo.	

1 Completar para solicitudes de movilización, importación y liberación al medio ambiente.

2 Completar sólo para solicitud de movilización y/o importación

3 Completar los incisos C.1 al C.6 para solicitud de movilización y/o importación, y del C.1 al C.11 para solicitud de liberación al medio ambiente.



DIRECCION GENERAL DE SANIDAD VEGETAL
REQUISITOS FITOSANITARIOS Y MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD PARA IMPORTACION
ORGANISMOS MANIPULADOS MEDIANTE LA APLICACION DE INGENIERIA GENETICA

CON FUNDAMENTO EN LOS ARTICULOS 23 FRACCION I Y 29 DE LA LEY FEDERAL DE SANIDAD VEGETAL, SE ESTABLECEN LOS SIGUIENTES REQUISITOS FITOSANITARIOS Y MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD QUE DEBEN CUMPLIRSE PARA LA IMPORTACION DE ORGANISMOS TRANSGENICOS.

REG. FED. CAUSANTES

NOMBRE O RAZON SOCIAL

PRODUCTO TRANSGENICO

CANTIDAD.:
 APROXIMADO:

UNIDAD DE MEDIDA:

VALOR

ADUANA DE ENTRADA:

PAIS DE PROCEDENCIA :

PAIS DE ORIGEN:

REQUISITOS FITOSANITARIOS

☐ CERTIFICADO FITOSANITARIO INTERNACIONAL

☐ TOMA DE MUESTRAS

☐ CERTIFICADO DE ORIGEN

☐ TRATAMIENTOS

☐ INSPECCION OCULAR

VIGENCIA

FECHA DE ELABORACION

REQUISITOS FITOSANITARIOS ADICIONALES:

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD PARA MATERIALES TRANSFORMADOS GENETICAMENTE:

FECHA DE EXPEDICION

MES DIA AÑO

A T E N T A M E N T E
 EL DIRECTOR GENERAL



No.

DIRECCION GENERAL DE SANIDAD VEGETAL
CERTIFICADO FITOSANITARIO DE LIBERACION AL MEDIO AMBIENTE
ORGANISMOS MANIPULADOS MEDIANTE LA APLICACION DE INGENIERIA
GENETICA

CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 43 DE LA LEY FEDERAL DE SANIDAD VEGETAL, SE EXTIENDE EL PRESENTE CERTIFICADO DE LIBERACION AL MEDIO AMBIENTE, AL INTERESADO CUYOS DATOS GENERALES SON:

REG. FED. CAUSANTES:

NOMBRE O RAZON SOCIAL:

DIRECCION:

NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL ENSAYO:

TELEFONO Y FAX:

PARA LIBERACION AL MEDIO AMBIENTE DEL:

Nombre científico	Nombre común
PRODUCTO TRANSGENICO:	
ORGANISMO DONADOR:	
ORGANISMO RECEPTOR:	
AGENTE VECTOR:	
SUPERFICIE A CULTIVAR:	UNIDAD DE MEDIDA:
TIPO DE MODIFICACION GENETICA:	
DIRECCION DEL LUGAR DONDE SE LLEVARA A CABO LA LIBERACION:	

VIGENCIA:

FECHA DE ELABORACION:

MEDIDAS DE BIOSEGURIDAD ADICIONALES A LAS ESTABLECIDAS EN LA SOLICITUD PARA LA LIBERACION DEL MATERIAL TRANSGENICO:

FECHA DE EXPEDICION

MES DIA AÑO

ATENTAMENTE
EL DIRECTOR GENERAL

