

Distr.

RESTRINGIDA

E/CEPAL/R.346

15 de noviembre de 1983

ORIGINAL: ESPAÑOL

---

C E P A L

Comisión Económica para América Latina

Reunión de Expertos CEPAL-UNESCO sobre las  
Consecuencias para América Latina de los  
Adelantos de la Biotecnología, incluida la  
Ingeniería Genética

Montevideo, Uruguay, 21 al 25 de noviembre de 1983



TENDENCIAS RECIENTES Y PERSPECTIVAS DE APLICACION DE  
LA BIOTECNOLOGIA A LOS PROBLEMAS DEL DESARROLLO DE  
AMERICA LATINA \*/

---

\*/ Este documento fue preparado para la presente reunión por la División Conjunta CEPAL/ONUDI de Industria y Tecnología con la colaboración del consultor señor Fernando Sánchez.



Indice

	<u>Página</u>
INTRODUCCION .....	1
Capítulo I.. LA BIOTECNOLOGIA INCLUIDA LA INGENIERIA GENETICA Y SUS CAMPOS DE APLICACION EN LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y DE SERVICIOS .....	5
1. Definiciones y delimitación de los campos de acción .....	5
2. Estado del arte y tendencias que se registran en actividades biotecnológicas seleccionadas .....	6
a) Industrias químicas .....	6
b) Sector farmacéutico .....	12
i) Antibióticos y vacunas .....	12
ii) Anticuerpos monoclonales .....	13
iii) Hormonas .....	14
iv) Interferones .....	14
v) Esteroides .....	14
vi) Vitaminas .....	14
c) Sector energía .....	15
i) Etanol .....	15
ii) Biogas (metano) .....	17
d) Sector alimentario .....	17
i) Proteína unicelular o microbial (PUC) .....	18
ii) Aminoácidos .....	20
iii) Producción de cultivos iniciadores .....	21
e) Sector agrícola .....	22
i) Mineralización del suelo (micorrizas) .....	22
ii) Fijación de nitrógeno .....	22
iii) Insecticidas microbiales .....	24
iv) Hormonas vegetales .....	24
f) Minería .....	24
i) Biolixiviación o hidrobiometalurgia .....	25
ii) Recuperación de petróleo .....	25
g) Sector de servicios .....	26

	<u>Página</u>
3. La manipulación genética en la biotecnología .....	26
a) Fusión celular .....	27
b) ADN recombinante .....	28
c) Cultivo de tejidos y células .....	29
d) El nuevo enfoque de la industria de semillas .....	31
Capítulo II. SITUACION ACTUAL DEL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGIA EN AMERICA LATINA .....	33
a) Sector químico .....	33
i) Las enzimas .....	33
ii) Acidos .....	35
iii) Biopolímeros .....	36
b) Sector farmacéutico .....	36
i) Antibióticos .....	36
ii) Vacunas .....	36
iii) Hormonas, Interferon y Esteroides .....	38
c) Sector energía .....	39
i) Etanol .....	39
ii) Metano (biogas) .....	40
d) Sector alimentos .....	42
i) Proteínas unicelulares (PUC) .....	42
ii) Aminoácidos .....	43
iii) Cultivos iniciadores .....	44
e) Sector agrícola .....	44
i) Micorrizas .....	44
ii) Fijación de nitrógeno .....	44
iii) Pesticidas microbiales .....	45
iv) Hormonas vegetales .....	46
v) Cultivo de tejidos vegetales .....	46
f) Minería .....	46
g) Sector de servicios .....	47
Capítulo III. CONSIDERACIONES FINALES: ALGUNAS AREAS PRIORITARIAS DE LA APLICACION DE LA BIOTECNOLOGIA Y LA COOPERACION REGIONAL E INTERNACIONAL .....	49
Anexo I .....	54
Anexo II .....	56

## INTRODUCCION

Este trabajo ha sido preparado para la Reunión de Expertos CEPAL/UNESCO sobre las Consecuencias para América Latina de los Adelantos de la Biotecnología, incluida la Ingeniería Genética, que se celebrará del 21 al 25 de noviembre de 1983 en Montevideo, Uruguay.

Como su nombre lo indica, esta reunión tiene como finalidad examinar el potencial y las repercusiones que tendrían para el desarrollo económico y social de los países latinoamericanos la incorporación de esta tecnología que ha mostrado avances espectaculares en los últimos tiempos. Se pretende así contribuir a alertar y sensibilizar a los gobiernos como a los organismos nacionales y regionales interesados, sobre el impacto de estas nuevas tecnologías e iniciar un intercambio de ideas e iniciativas en torno al tema que le permita a los países como a la región en su conjunto ir valorando posibilidades y adoptando las medidas pertinentes para su plena utilización en la solución de algunas de las necesidades fundamentales de su desarrollo y el logro de una mejor calidad de vida.

El documento sólo pretende aportar algunos elementos y antecedentes que faciliten el diálogo y la consecución de los fines perseguidos por la reunión. Cabe señalar su carácter preliminar, más bien introductorio de los temas que preocupan sin tratar de profundizar en todo el espectro que ofrece esta tecnología como tampoco en la diversidad de situaciones y experiencias que es posible encontrar en América Latina como en otras regiones.

El estudio consta de tres capítulos. En el primero se describe en forma breve el estado del arte de la biotecnología, incluyendo la ingeniería genética, se precisan algunas definiciones y se adelantan algunos elementos de carácter técnico y económico. En el segundo, se hace una rápida enumeración de las principales actividades que se llevan a cabo en la región en este campo y por último, en el capítulo tercero se sugieren algunas áreas que podrían tener interés prioritario en América Latina y se avanzan algunas líneas de acción y de cooperación regional e internacional. Se espera en una futura versión, más acabada y enriquecida por los debates y conclusiones de la Reunión de Expertos, poder ofrecer un panorama más completo de la realidad regional como asimismo, de las perspectivas que la incorporación de la biotecnología ofrece a los medios productivos y de los servicios de la América Latina.

Los antecedentes hasta ahora disponibles indican la existencia de importantes diferencias entre los países latinoamericanos en cuanto al grado de preocupación sobre las posibilidades y potencialidades que ofrece la biotecnología y por consiguiente, también en términos de formulación de programas conducentes a promover su desarrollo y llegar a aplicaciones productivas. Estas diferencias están muy vinculadas con el nivel de desarrollo de los países, la potencialidad de los mercados y la presencia de algún recurso importante o de algún problema socioeconómico particularmente serio.

También es posible constatar que la incorporación de esta nueva tecnología en América Latina está teniendo lugar a través de acciones tanto públicas como privadas como de impulsos nacionales y exógenos. En este sentido son notorias por una parte el lugar importante que están ocupando las empresas transnacionales y por otra las iniciativas en algunos países, principalmente los de mayor tamaño de organismos de planificación como de otros entes estatales tendientes al establecimiento de programas nacionales de desarrollo de estas disciplinas ante el convencimiento de las potencialidades que brinda la biotecnología clásica como la moderna por medio de la ingeniería genética.

No obstante lo anterior, los principales avances logrados en el campo biotecnológico se manifiestan predominantemente hasta ahora en América Latina, salvo algunas pocas excepciones en el ámbito experimental. Los esfuerzos que aquí se realizan, si bien importantes y bien orientados, encuentran serias dificultades presupuestarias que pueden dilatar o poner en peligro los programas esbozados. Ante esta situación, es notable destacar las acciones que algunos programas de biotecnología estructurados por organismos nacionales están implementando a fin de optimizar sus recursos a través de una estrecha coordinación en proyectos comunes, en que participan y colaboran varias instituciones. En relación con los recursos humanos, si bien se puede decir que algunos países de América Latina disponen de profesionales de formación y cantidad adecuadas en ingeniería química y bioquímica, no podría afirmarse lo mismo en ciencias biológicas (microbiología, biología molecular, genética) donde se observa una cierta debilidad.

Contrariamente a la actitud prevaleciente en los países industrializados de asignarle a la biotecnología un rol fundamental en sus planes y estrategias de desarrollo, los países de América Latina, no obstante las iniciativas que se constatan, no parecen haber percibido totalmente el impacto y la contribución que esta tecnología puede tener en la solución de problemas importantes, presentes como futuros, del desarrollo regional. La manipulación genética, herramienta fundamental de la biotecnología moderna, se encuentra en el mundo en sus primeras etapas de despegue esperándose importantes resultados en su aplicación productiva y de los servicios en los próximos 5 a 10 años. Por lo tanto, surge como primera prioridad para la región acelerar las decisiones encaminadas a definir las áreas que aparecen como piezas fundamentales en sus planes de desarrollo económico y social y establecer los programas y las acciones correspondientes para el pronto desarrollo e incorporación de los procesos biotecnológicos pertinentes. De esta manera se considera que podría prevenirse a futuro un retraso tecnológico y el aumento consiguiente de la brecha con los centros tal como ha ocurrido con otros sectores y cuyas consecuencias son bien conocidas.

La producción de alimentos y el mejoramiento del nivel nutricional, la elaboración de drogas y productos farmacéuticos para atender problemas apremiantes de salud e higiene, la explotación de recursos renovables para la provisión de productos químicos y energéticos, la aplicación de procesos biológicos para la recuperación de metales, la extracción de petróleo y atacar problemas de contaminación ambiental, son, entre otros, sectores que aparecen como de alto interés para la región y a los que debería prestársele atención especial.

Un aspecto importante a tener presente en esto y que deberá jugar un papel trascendental en la materialización de las acciones regionales es el que se relaciona con la cooperación regional e internacional. En este sentido la experiencia que han acumulado algunos países de la región puede servir de base para iniciar y concretar algunas actividades de cooperación regional en especial con aquellos en los que la aplicación de procesos biotecnológicos se encuentra en estado incipiente.

Existe en este campo tecnológico una serie de temas de interés común en los que su tratamiento mediante acuerdos cooperativos reportaría enormes beneficios tanto por el uso más eficiente que se lograría de los recursos disponibles como por el mayor impulso que se conseguiría en su desarrollo y aplicación. Cabe mencionar a este respecto la formación de recursos humanos, la creación de mecanismos de intercambio de información científica y tecnológica incluyendo el establecimiento de órganos de divulgación de las experiencias regionales, la puesta en marcha de estudios conjuntos en áreas de interés específico para la región, etc.

La acción conjunta podría traducirse también en la creación de bancos de genes, de ceparios y el intercambio de ellos. También aparecen como temas de atención regional la armonización de los aspectos legales sobre los sistemas de patentes y en especial de microorganismos, semillas, cultivares, etc., y la reglamentación de las normas de seguridad en el manejo de los productos de la ingeniería genética.

No menos importante en este esfuerzo regional es el papel que le corresponde a la cooperación y el relacionamiento con otras áreas en desarrollo y con los propios países desarrollados. El Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología, auspiciado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y cuyo establecimiento ha sido aprobado por la comunidad internacional, debe jugar un papel destacado en la promoción del desarrollo y la coordinación de la cooperación internacional. En esto se encuentra una razón más para que América Latina defina lo antes posible sus preferencias y sus programas de acción a fin de obtener el máximo beneficio que reportará la puesta en marcha de este centro internacional.



## Capítulo I

### LA BIOTECNOLOGIA INCLUIDA LA INGENIERIA GENETICA Y SUS CAMPOS DE APLICACION EN LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y DE SERVICIOS

#### 1. Definiciones y delimitación de los campos de acción

Existe una gran diversidad de definiciones tendientes a establecer el significado y el ámbito que abarca el área de la biotecnología, dependiendo ello del interés, las circunstancias y las preocupaciones de diversa índole que esta tecnología suscita. En términos generales estas definiciones son bastante similares pero difieren en cuanto a los campos de aplicación y a las disciplinas concurrentes.

Para los efectos de este trabajo el término biotecnología se utiliza para referirse a diversas técnicas que, mediante la aplicación de agentes biológicos, sean estos organismos vivos o sus componentes, se pueden utilizar para la producción de ciertos bienes y servicios. A su vez la expresión ingeniería genética se emplea para referirse en especial a las manipulaciones sobre el material genético mismo.

En grandes líneas, esta definición excluiría por ejemplo, la utilización de la biotecnología en tratamientos médicos como asimismo, las áreas de la ingeniería y tecnología médica a menudo denominada también como ingeniería biomédica. Por otra parte, aunque la agricultura y las prácticas tradicionales de mejoramiento genético de cultivos y ganado no se consideran por lo general como parte de la biotecnología, es necesario reconocer como parte integrante de ella ciertas actividades como la producción de pesticidas microbiales y el desarrollo de variedades de plantas y animales y la capacidad mejorada de fijación de nitrógeno mediante la ingeniería genética. Demás está señalar el impacto que estas técnicas tendrán en el desarrollo del sector agrícola del futuro como tampoco se puede desconocer el rol de la agricultura como proveedor importante de materias primas para la gran mayoría de los procesos biotecnológicos.

En cuanto a la aplicación de la biotecnología en la producción de bienes y servicios es ampliamente conocido el espectro prácticamente

inagotable de las potencialidades que ofrece esta tecnología particularmente a la luz de los avances logrados en los últimos diez o quince años en materia de ingeniería genética y de las ciencias básicas relacionadas con la biología. A este respecto se sostiene que virtualmente no existe compuesto orgánico que no pueda ser producido por medios biológicos.

De este universo, del cual existe abundante literatura disponible que describe el estado actual y las perspectivas futuras, se han seleccionado algunas actividades que en una primera apreciación se consideran ya sea como las de aplicación más inmediata o que presentan mayor interés para la región ó los países en particular en términos de la contribución que les podría caber en la solución de algunos de los problemas del desarrollo o que finalmente podrían ser atractivas para iniciar actividades de investigación y desarrollo vistas las necesidades y los recursos disponibles.

Estas actividades se han agrupado en siete grandes áreas como se indican en el cuadro 1 y que se consideran relevantes en el proceso de desarrollo económico y social de América Latina. A continuación se hace una breve descripción de cada una de estas áreas y de los correspondientes procesos biotecnológicos desde el punto de vista de su importancia económica, del nivel tecnológico alcanzado conjuntamente con una apreciación sobre la evolución que se observa en los países desarrollados. Su único propósito es el de proporcionar algunos antecedentes y el marco de referencia para el examen de la situación latinoamericana.

## 2. Estado del arte y tendencias que se registran en actividades biotecnológicas seleccionadas

### a) Industrias químicas

i) Las principales ventajas que ofrece la biotecnología en la producción de productos químicos radican en el uso de recursos renovables, en exigencias físicas menos rigurosas de los procesos y en la reducción de los niveles de contaminación. Cerca del 40% de la producción química corresponde a productos orgánicos que son los que mayoritariamente pueden ser producidos por procesos biológicos. Son casos bien conocidos las aplicaciones industriales en la producción de ácidos cítrico, láctico,

Cuadro 1

SECTORES Y CAMPOS DE ACTIVIDAD DE LA BIOTECNOLOGIA

Sector	Actividades
<u>Químico</u>	Etanol, acetona, butanol, ácidos orgánicos (málico, cítrico, glutámico) enzimas biopolímeros
<u>Farmacéutico</u>	Antibióticos Agentes de diagnóstico (anticuerpos, enzimas) Inhibidores de enzimas Esteroides Vacunas
<u>Energético</u>	Etanol Metano (biogas) Biomasa
<u>Alimentario</u>	Cultivos iniciadores Bebidas (alcohólicas) Levadura de panificación Aditivos (antioxidantes, colorantes, sabores) Aminoácidos y vitaminas Modificación funcional de proteínas, almidones y pectinas Eliminación de toxinas
<u>Agrícola</u>	Vacunas veterinarias Ensilaje y compostación Pesticidas microbiales Rizobios y otros fijadores de nitrógeno Micorrizas Cultivo de tejidos y células Hormonas vegetales (ácido giberélico)
<u>Minero</u>	Beneficio de metales, biolixiviación Recuperación de petróleo
<u>Servicios</u>	Purificación de aguas Tratamiento de efluentes Manejo y uso de desechos

málico y acético como también de etanol,<sup>1/</sup> acetona, butanol y algunos aminoácidos como glutámico y lisina.

Se espera que en el futuro los procesos fermentativos puedan ser viables en términos económicos y produzcan un desplazamiento de los procesos de síntesis química que hoy se basan principalmente en el uso del petróleo y del gas natural.

ii) Las enzimas son biocatalizadores complejos de gran especificidad y eficiencia y capaces de inducir y acelerar la velocidad de reacciones químicas definidas.

Comercialmente las enzimas son obtenidas por extracción de tejido animal (pepsina, pancreatina, renina), de plantas (papaína, ficina, bromelina) y en las últimas décadas, a partir de fermentaciones microbianas.

Su principal mercado -cerca del 70%- se ubica en la industria alimentaria siguiéndole en importancia la industria farmacéutica y de detergentes biológicos.

La producción de enzimas es una actividad industrial que no es de gran magnitud en términos de valor, pero tiene una gran importancia, al igual que otros catalizadores, por el tipo de productos que es posible obtener y el valor de los mismos que supera varias veces el valor de la enzima. Los mercados principales están en Europa, Estados Unidos y Japón estimándose que el mercado mundial alcanza unos 250 millones de dólares, correspondiendo la mitad de esta cantidad a los Estados Unidos. Sin embargo, es importante indicar que en este país existe un mercado cautivo representado por las grandes compañías productoras de almidón que a su vez son propietarias de plantas fabricantes de jarabe de maíz de alto contenido de fructosa (JMAF). Las principales enzimas que conforman el mercado de Estados Unidos se señalan en el cuadro 2.

De ese cuadro es interesante destacar algunas tendencias importantes. En primer lugar, el incremento importante que muestran las enzimas que se emplean en el proceso de conversión del almidón en JMAF como son las alfa-amilasas, la amiloglucosidasa y la importantísima glucosa isomerasa.

---

<sup>1/</sup> El etanol por su importancia como elemento combustible se describe más detenidamente en el sector energía.

Cuadro 2

EL MERCADO DE ENZIMAS EN ESTADOS UNIDOS

Enzima	Ventas anuales estimadas en millones de dólares			
	1975	1977	1980	1985
Alfa amilasa	5.5	10.0	11.6	14.8
Amiloglucosidasa	6.0	12.0	14.3	19.1
Beta amilasa	2.5	2.8	3.2	4.1
Glucosa Isomerasa	15.0	40.0	50.0	65.0
Glucosa oxidasa	0.7	0.8	1.1	1.3
Invertasa	0.3	0.3	0.3	0.3
Lipasa	0.5	0.6	0.8	1.3
Celulasa	0.3	0.3	0.4	0.5
Pectinasas	2.0	2.3	2.7	3.6
Papaina	10.1	11.8	14.9	21.9
Bromelina	1.0	1.1	1.3	1.6
Pancreatina	4.6	5.1	5.9	7.5
Pepsina	3.5	3.8	4.5	5.8
Renina	14.9	16.7	19.9	26.7
Proteasa Bacterial	4.7	5.2	6.2	8.2
Proteasa Fungal	0.9	1.0	1.1	1.4
<b>TOTAL</b>	<b>72.5</b>	<b>113.8</b>	<b>138.2</b>	<b>183.1</b>

Fuente: Wolnak B. ENZYMES The interface between technology and economics.

En segundo lugar llama la atención el mercado creciente que muestra la papaína -enzima obtenida del latex de la papaya- a pesar de la producción de proteasas microbiales. Esta enzima es abastecida principalmente desde la India y Sudáfrica. En tercer lugar, resulta interesante observar el lento crecimiento que se registra hasta 1985 en el mercado de las celulasas, lo que estaría revelando que aún está lejos la viabilidad económica de transformar enzimáticamente la celulosa en glucosa. Este es un tema de actualidad en que se están invirtiendo esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológico con el objeto de poder aprovechar las enormes reservas de recursos lignocelulósicos que podrían ser destinados a la producción de glucosa y eventualmente también de alcohol. Por último llama la atención en el cuadro 2 la ausencia de lactasa, enzima que en los últimos años ha sido materia de mucha investigación dadas las perspectivas promisorias de su utilización en la hidrólisis de lactosa principalmente del suero de queso. El producto obtenido -un jarabe de glucosa y galactosa- tiene mayor poder edulcorante y es más soluble que la lactosa. La aplicación industrial es también atractiva desde el punto de vista de la utilización de un recurso que debe ser obligatoriamente tratado a fin de evitar la contaminación del agua.

Todo lo anterior y la aparición en el mercado de otros edulcorantes artificiales como el aspartame, producto también de procesos de fermentación, conforman un cuadro que puede llegar a tener un impacto muy negativo en los países productores y exportadores de azúcar.

iii) Los ácidos como el cítrico, láctico, acético y sus sales correspondientes son de amplio uso en la industria alimentaria. Se les emplea en el control de la acidez y sabor de muchos alimentos de consumo habitual como son bebidas analcohólicas, mermeladas, salsas, mayonesas y otros.

El ácido cítrico se encuentra en forma natural en muchas frutas principalmente limones y naranjas. Es el ácido más ampliamente usado en la acidificación de alimentos. La firma Pfizer instaló en 1923, la primera planta de fermentación industrial de ácido cítrico, utilizando el hongo Aspergillus niger para transformar azúcares en ácido cítrico. Posteriormente, la Empresa Miles ha desarrollado razas de este hongo con rendimientos industriales superiores y ha innovado exitosamente en el método de producción en cultivo sumergido que reemplazó con ventajas económicas al de bandeja.

Otro ácido importante es el láctico producido por fermentación de sustancias orgánicas como dextrosa obtenida de la hidrólisis de almidón. Su uso en el procesamiento de alimentos es más bien limitado para servir como agente para el control de acidez en fermentaciones lácticas como por ejemplo en la elaboración de encurtidos.

El vinagre es un producto natural obtenido por una fermentación acética de bebidas alcohólicas como vino y sidra, y su uso es conocido desde tiempos muy antiguos en numerosos alimentos. El ácido acético producido por síntesis química es por el momento bastante más barato, pero, de acuerdo a las legislaciones sanitarias de casi todos los países no puede ser usado en reemplazo del vinagre natural.

El ácido málico se produce por síntesis química, pero puede también ser producido por fermentación, esperándose que este método sea más económico a corto plazo.

El ácido glutámico y su sal sódica son también productos de la fermentación y se utiliza como aditivo realzador de sabores. Se le emplea en alimentos formulados en los cuales es necesario intensificar el sabor a carne. Por ello su uso es corriente en sopas, platos preparados congelados, salsas de condimentación y muchos otros alimentos.

iv) Entre los principales biopolímeros en producción industrial, se encuentra un hidrocoloide o goma conocida con el nombre de xantato o xantana (xanthan gum) que corresponde a un carbohidrato de alto peso molecular. Es producido mediante fermentación del microorganismo Xanthomonas campestris. Estas gomas presentan propiedades muy específicas, que las hace muy adecuadas a diferentes usos. Preferentemente se las emplea en la industria de alimentos como espesante y estabilizante de emulsiones, como ser en jugos de fruta, alimentos congelados, salsas de condimentación, mayonesas, etc. Sin embargo, las xantanas de grado industrial son las que constituyen el mercado más importante por cuanto se les usa, por ejemplo, en la agricultura para la formulación de pesticidas por sus propiedades dispersantes; en la formulación de extinguidores de incendio; en tratamientos especiales del papel; en explosivos y en la industria del petróleo. En esta última industria, se investigan métodos para acrecentar la recuperación de petróleo (enhanced oil recovery) mediante la inyección de productos químicos para ayudar a

empujar el crudo contenido en la formación petrolífera. Las xantanás se emplean para estos propósitos ya que se obtiene una mayor viscosidad del fluido transportador del petróleo, resultando con ello una recuperación más eficiente del mismo.

b) Sector farmacéutico

Es quizás, el sector que más uso intensivo hace de los procesos fermentativos para la producción de una gran cantidad de fármacos y drogas, como son los antibióticos, vacunas, hormonas, esteroides, vitaminas, de gran utilidad para la atención de necesidades fundamentales de la humanidad. La ingeniería genética es también un instrumento importante en la producción de productos farmacéuticos.

i) Antibióticos y vacunas. La producción microbiana de antibióticos y vacunas reviste una importancia universal, para el control de enfermedades.

Los antibióticos son sustancias antimicrobiales producidos por microorganismos vivos, cuyo uso terapéutico, y en muchos casos profiláctico, permite el control de numerosas enfermedades infecciosas. Las vacunas por el contrario son preparaciones de organismos muertos o vivos pero atenuados en su virulencia que al ser administrados al hombre y animales estimulan su inmunidad a infecciones provocadas por el mismo tipo de organismos.

La industria productora de antibióticos es uno de los sectores importantes, alcanzando el mercado mundial una cifra del orden de 4.3 mil millones de dólares. Es una actividad industrial dominada por pocas empresas de países industrializados propietarios de plantas de enorme capacidad de producción que se benefician de las economías de escala, y que les permite producir estas drogas a bajo costo y abarcar grandes mercados.

El mercado más importante de antibióticos se encuentra en la alimentación animal para promover el aumento de peso y un mayor crecimiento de los animales jóvenes, (crianza de pollos, cerdos, ganado de carne y leche).

En este campo existen otras sustancias que no tienen propiedades antibióticas, pero que se emplean habitualmente en alimentación animal como es la rumensina que se emplea para reducir los requerimientos de alimentos (aproximadamente 10%). La ganancia en peso es la misma, sólo que se reduce la ingestión en un 10%.



ii) Anticuerpos monoclonales. Los anticuerpos son moléculas proteicas producidas por ciertas células del cuerpo que constituyen la base del sistema de inmunidad contra enfermedades de humanos y animales.

Los métodos normales para obtener anticuerpos para la protección de enfermedades es inyectar un animal con algún antígeno del cual se desea una respuesta de inmunización. El sistema de inmunización responde a este estímulo produciendo una variedad de anticuerpos, cada uno específico, a las moléculas inyectadas de antígeno. El plasma sanguíneo separado de la sangre contiene esta mezcla de anticuerpos. Este procedimiento es caro y lento resultando difícil aislar anticuerpos específicos.

En 1975, se inició una nueva era en inmunología con el descubrimiento de la llamada "Técnica del hibridoma" que es un método creado para producir anticuerpos uniformes contra un antígeno específico y que se basa en la fusión de células de mieloma (cancerígenas) con células productoras de anticuerpos obtenidas de un donante inmunizado. Las células hibridadas o "hibridoma" resultantes poseen la capacidad para multiplicarse rápidamente e indefinidamente en cultivos y producir un anticuerpo de una especificidad predeterminada conocido como "anticuerpo monoclonal". Con este procedimiento es posible producir reactivos (anticuerpos) estandarizados de una clase dada de afinidad y especificidad, lo que virtualmente permite la identificación de cualquier molécula de antígeno. Esta tecnología ha provocado un avance notable en los métodos disponibles de análisis de la composición de microorganismos para el diagnóstico rápido y ayudar al desarrollo de vacunas.

El uso de anticuerpos monoclonales reemplazará a los métodos serológicos convencionales y su rango de usos es muy amplio y escapa al objetivo de este análisis. A título ilustrativo puede mencionarse:

- Anticuerpos generados contra virus, que atacan animales como la rabia, influenza, herpes, aftosa, pueden ser identificados a nivel incluso de razas, lo que con anterioridad al empleo de estas técnicas era muy difícil de diagnosticar.
- En forma similar los anticuerpos clonales permitirán la identificación de virus agentes de enfermedades de plantas con el consiguiente beneficio de poder desarrollar variedades resistentes certificadas de que no portan enfermedades virales y/o bacteriales.

iii) Hormonas. Además de las tecnologías tradicionales para la producción de hormonas por extracción de órganos animales y humanos y por síntesis química, en los últimos años ha emergido la tecnología de producción por microorganismos creados mediante ingeniería genética.

Es el caso de la producción de insulina y las hormonas del crecimiento. La primera ya se encuentra en producción industrial.

iv) Interferones. Son glicoproteínas que elaboran ciertas células, como los glóbulos blancos de la sangre en respuesta a infecciones virales. Una de las formas de producción es obtenerla del cultivo de estas células. Por su alto costo debido a la poca disponibilidad de sangre, se ha investigado su producción mediante microorganismos diseñados por ingeniería genética para esos fines.

v) Esteroides. Muchos esteroides comerciales son obtenidos por fermentación bacteriana y luego se modifican por procesos químicos. Alternativamente, existen métodos que operan a la inversa, es decir, se obtienen esteroides mediante procesos químicos para luego ser terminados mediante la utilización de microorganismos.

Esteroides de amplio uso son la cortisona, progesterona, hidrocortisona, estradiol, ácido cólico, testosterona. Algunos de estos esteroides, que corresponden a hormonas sexuales, se emplean como estimulantes del crecimiento en la crianza de animales. La producción de varias de estas sustancias ha significado un impacto enorme en el mejoramiento de la eficiencia alimenticia en la producción de carne.

vi) Vitaminas. Son compuestos químicos esenciales en nutrición humana y animal y en funciones específicas cuya deficiencia provoca enfermedades y trastornos fisiológicos graves.

Muchas de las vitaminas de utilización en seres humanos se producen por síntesis química debido a la alta pureza del producto obtenido. En cambio, las vitaminas de uso en alimentación animal se producen por procesos fermentativos como es el caso de las vitaminas del complejo B.

c) Sector energía

El uso de biomasa como fuente para la producción de combustibles y productos químicos presenta perspectivas promisorias. La fotosíntesis es un medio natural para acumular energía del sol y la biomasa resultante posee características favorables para su transformación en otras formas energéticas más adecuadas a las necesidades industriales como es el caso de la producción de alcohol.

Sin embargo se reconocen ciertas desventajas de la biomasa como tal. Una de ellas y quizás la principal, es que la biomasa se encuentra muy esparcida si se la compara con depósitos concentrados de carbón, petróleo o gas, otra es que tiene un contenido de humedad alto y menos valor calórico y por último, que la mayoría de las tecnologías de conversión necesitan aún de investigaciones y desarrollo antes de llegar a ser económicamente factibles.

Por otra lado, la velocidad de crecimiento de la biomasa es varias veces superior a la velocidad de consumo de combustibles fósiles, situación que puede intensificarse notablemente mediante la plantación de especies de rápido crecimiento y en lo posible de leguminosas que nitrifiquen el suelo en simbiosis con rizobios.

Por lo anterior se prevé que la agricultura del futuro además de producir alimentos y fibras sea una importante fuente renovable de energía.

Esto ha hecho surgir un interés enorme por investigar alternativas energéticas, como es la producción de alcohol y metano mediante fermentación anaeróbica.

i) Etanol. La caña de azúcar, la remolacha azucarera, el sorgo dulce, especies arbóreas como el arce, se usan industrialmente para la producción de azúcar de uso alimenticio y en algunos casos especiales para la producción de alcohol. Plantas ricas en almidón como la papa, yuca o mandioca y el maíz también pueden ser empleados para la producción de alcohol.

Algunos avances recientes como lo son el proceso de fermentación al vacío y el reciclaje de la levadura, han significado una reducción en los costos de producción de alcohol. Mediante vacío es posible separar en forma continua el etanol que la levadura produce y con ello se evita la inhibición de la fermentación por el efecto del alcohol sobre la levadura ya que concentraciones de 7 a 10% de etanol reducen el rendimiento, la productividad y el crecimiento celular.

Esta innovación tecnológica reciente permite emplear medios de cultivo de mayor concentración en azúcar, con la correspondiente economía de tamaño de los fermentadores y energía requerida en la operación de fermentación. Asimismo, por efecto del vacío, el destilado contiene alrededor de 20% de etanol y consecuentemente el costo de destilación para llegar a producir un alcohol de 95% es bastante menor que el producido con base a los mostos convencionales que contienen entre 7 y 10% de etanol.

Otra fuente abundante para la producción de etanol son los recursos lignocelulósicos. Sin embargo, su aprovechamiento está condicionado a su transformación previa en glucosa ya sea por medios ácidos o enzimáticos.

La hidrólisis ácida es una tecnología antigua que se empleó durante la Segunda Guerra Mundial; pero su aplicación se discontinuó por ser no viable económicamente. El rendimiento máximo en azúcares fermentecibles es cercano al 55% en peso de la celulosa inicial, porcentaje que podría ser mejorado de lograrse también la conversión de la hemicelulosa en productos fermentecibles por la levadura común. Se han aislado ciertos microorganismos que ofrecen realizar ciertas alternativas para esta conversión, lo que podría mejorar las posibilidades de utilización de la celulosa para la producción de alcohol.

La celulosa también puede ser hidrolizada por enzimas siempre que la materia prima sea previamente tratada para liberarla de sustancias que impiden el contacto directo con la enzima como es el caso de la lignina.

Este proceso de pretratamiento está permitiendo rendimientos de sobre 90% de la cantidad teórica de glucosa y en la medida de que el precio de las celulasas disminuya, el proceso de hidrólisis enzimática podría llegar a ser económicamente viable.

Otra vía que se está experimentando es la bioconversión directa del sustrato lignocelulósico a etanol. Investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT) ya han logrado éxito en la fermentación directa de recursos lignocelulósicos mediante microorganismos anaerobios que primero hidrolizan y luego fermentan los azúcares a etanol. Este proceso es relativamente más barato en comparación al basado en la enzima celulasa; pero presenta algunos problemas que se asumen podrían ser solucionados en el corto plazo.

Como tratamiento previo a la hidrólisis enzimática la separación y recuperación de la lignina con solventes presenta un creciente interés pero su aplicación práctica está limitada por el alto costo del proceso. Otro método que se ha estado experimentando es la explosión con vapor de la madera y que ha sido desarrollado por una empresa canadiense con buenos resultados por lo menos a nivel de planta piloto.

ii) Biogas (metano). La digestión anaeróbica para la producción de gas ha renacido con vigor en los últimos años debido a que el proceso es simple y requiere poco control. Esto hace que esta tecnología sea apropiada a las necesidades y posibilidades de los países en vías de desarrollo. No obstante, cabe señalar que el proceso de metanogénesis falla con cierta frecuencia.

Varios países han fomentado programas para la generación de gas metano a partir de la digestión en pequeña escala de desechos orgánicos como excretas de animales, basura y efluentes de plantas agroindustriales. China es uno de los países líderes en la aplicación exitosa de programas de biogas, reportando la existencia de más de 8 millones de digestores en operación.

Las perspectivas para la digestión anaeróbica están mejorando con el desarrollo de nuevos diseños de reactores tales como aquéllos en que se utilizan microorganismos inmovilizados; lográndose gas metano de 90% de pureza con la gran ventaja de eliminarse las etapas de refinación.

Los procesos más modernos para la digestión de biomasa se realizan con digestores termofílicos de dos etapas. Estos presentan la ventaja de ser relativamente pequeños debido a que la velocidad de digestión es rápida pero es necesario usar parte del metano para calentar el digestor. El proceso Anthane desarrollado por el Institute of Gas Technology emplea la tecnología de digestión en dos etapas y ha sido probado a nivel industrial por la empresa belga DDK en muchas plantas de Europa para el aprovechamiento de desechos agroindustriales.

d) Sector alimentario

La aplicación de la biotecnología al sector alimentario se concentra en una buena parte en procesos fermentativos muy conocidos y que se aplican desde tiempos antiguos en la preservación y elaboración de productos alimenticios, como el vino, el pan, la cerveza, encurtidos, productos lácteos

fermentados, edulcorantes, aromatizantes, espesantes, gelatinas, etc. Otro grupo de productos lo conforman la producción de proteínas microbiales o unicelulares (PUC), los aminoácidos y los cultivos iniciadores a los que se hará especial referencia.

i) Proteína unicelular o microbial (PUC). La imperiosa necesidad de contar con una mayor disponibilidad de proteínas como una forma de suministrar adecuadamente los requerimientos crecientes de los países desarrollados y en vías de desarrollo, tanto para consumo humano y animal, llevó a que durante la década del 65-75 se haya investigado y desarrollado intensamente la producción de proteína unicelular. La proteína unicelular o microbial es un término genérico para denominar aquella proteína cruda o refinada obtenida a partir de organismos unicelulares o multicelulares, como son las bacterias, levaduras, hongos y algas.

Existen muchas razones del porqué de este enfoque de producir proteínas unicelulares:

- a) La velocidad de crecimiento y por ende la síntesis proteica en los microorganismos es notablemente más elevada que para otros organismos multicelulares como las plantas superiores y los animales.
- b) Los microorganismos pueden ser cultivados y propagados en gran escala mediante el empleo de reactores o fermentadores compactos a un elevado nivel de productividad, en contraste con los procedimientos agrícolas tradicionales que demandan vastas extensiones de terreno.
- c) El cultivo de microorganismos no depende de condiciones climáticas y la tasa de crecimiento puede predecirse ajustando al óptimo las condiciones del medio de propagación.
- d) La proteína unicelular puede utilizar materiales no agrícolas siendo el único alimento potencial que no dependería de insumos agrícolas ejemplo: metanol como sustrato obtenido a partir de gas natural.
- e) Los procesos de producción de proteína unicelular causan pocos problemas de eliminación de residuos por cuanto el medio de cultivo agotado puede ser reciclado después de cosechar la biomasa.

A pesar de estas consideraciones altamente ventajosas, la producción de proteína unicelular no ha alcanzado el éxito industrial que se esperaba.

Importantes empresas petroleras y químicas, particularmente europeas, han hecho inversiones en plantas productoras de PUC a partir de derivados del petróleo y otros sustratos con el objetivo de sustituir una buena parte de la importación de proteínas de soya y harina de pescado e independizar de esta manera, a la industria de alimentos de uso animal de la Comunidad Europea de las fluctuaciones de precio que con frecuencia ocurren con estas materias primas proteicas, sujetas a condiciones climáticas, oceanográficas y otras. Pero los altos costos de producción han terminado con el cierre temporal de estas plantas y ha desestimulado nuevas inversiones. De haber sido viable, las consecuencias económicas para los países productores exportadores netos de proteínas convencionales habrían sido muy negativas, como por ejemplo para Brasil, Argentina, Paraguay, Chile y Perú.

Los altos costos de producción se deben a que las plantas son intensivas en capital y al hecho que los procesos de recuperación y secado de biomasa son costosos. Sólo una pequeña fracción de biomasa se recupera y debe ser sometida a procesos de trituración para romper las estructuras celulares y mejorar con ello la digestibilidad de la proteína siendo además necesario, en algunos casos, aplicar procesos de purificación para eliminar sustancias tóxicas en especial si la proteína se destina a consumo humano.

La producción actual de PUC se circunscribe a la levadura recuperada de fermentaciones alcohólicas y que preferentemente se usa en la alimentación animal, estimándose que el volumen anual es de alrededor de unas 300 000 toneladas.

Las algas constituyen un caso especial en la producción de PUC y podrían ser de gran atractivo en ciertas áreas por las características favorables que presenta su cultivo, como ser:

- alto rendimiento en producción de biomasa;
- los nutrientes y el agua del medio de cultivo se mantienen en espacios confinados sin que se pierda por infiltración o transpiración como ocurre con las plantas terrestres;
- su contenido de proteínas es alto (40-60% del peso seco);
- algunas especies son fijadoras de nitrógeno del aire;
- permite aprovechar tierras marginales de mala clase;
- aguas de baja calidad (contaminadas, salinas) pueden ser usadas como medio de cultivo;
- las variaciones climáticas las afectan menos que a las plantas terrestres.

No obstante, cabe señalar que frente a estas ventajas se presentan algunos factores que limitan por el momento su producción comercial, tales como:

- baja densidad celular (0.2-8 gramos de materia seca por litro) hace que la cosecha y secado de la biomasa sea difícil y cara;
- la luz incidente es reflejada en un 30% por el agua, reduciendo la eficiencia de la fotosíntesis;
- los requerimientos de nutrientes y condiciones de crecimiento son difíciles de controlar;
- las algas cosechadas deben necesariamente ser tratadas para aumentar su digestibilidad;
- se requiere anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) en cantidades importantes.

A pesar de estos elementos negativos, se continúa estudiando la utilización de las algas en otras aplicaciones ya que constituyen una muy buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales y algunas, como la variedad azul-verde son fijadoras de nitrógeno atmosférico y de ahí su interés para una fertilización directa de cultivos como el arroz. Se investigan también algunas especies de algas que son fotoproduktoras de hidrógeno.

ii) Aminoácidos. Los aminoácidos son las unidades básicas cuyo encadenamiento conforma las moléculas proteicas. Muchos de estos aminoácidos son los responsables directos de la calidad biológica de las proteínas especialmente en aquellos alimentos destinados a la alimentación de animales monogástricos.

De ahí que la suplementación de los alimentos de uso animal con aminoácidos que no son sintetizados en el tracto digestivo de los monogástricos sea una práctica ampliamente conocida por la industria de alimentos balanceados.

La principal fuente de proteínas en alimentos de consumo animal son los cereales que proveen energía y proteínas, pero deben ser enriquecidos con concentrados proteicos. Los cereales son deficientes en lisina y en algunos casos en triptófano como ocurre con el maíz, pero, a menudo tienen suficiente cantidad de metionina.



Hoy en día uno de los concentrados proteicos de mayor importancia en alimentación animal es el afrecho de soya que es deficiente en metionina pero con una cantidad más que suficiente de lisina, por lo tanto, en base a lo señalado anteriormente, es posible lograr una complementación aminoácida entre cereales y soya mediante una mezcla apropiada de estos dos materiales.

La disponibilidad comercial de aminoácidos sintéticos le ha dado una nueva dimensión al procedimiento de preparación de dietas balanceadas de uso animal, haciendo posible el logro de condiciones nutricionales óptimas dentro de una gama más amplia de variaciones en los costos, con ello han abierto mayores alternativas a la formulación de dietas animales. Estos aminoácidos sintéticos pueden ser fabricados a partir de materias primas no agrícolas como de subproductos agrícolas lo que ha significado un logro importante en la productividad de ese sector.

El actual valor de mercado de aminoácidos es de 1.7 mil millones de dólares, siendo el de mayor significación la metionina. La producción mundial supera las 80 000 toneladas anuales, de las cuales 25% es producido en Japón. La declinación en la producción de harina de pescado desde 1973 ha servido de estímulo a la construcción de nuevas plantas en Europa y Estados Unidos.

Con respecto a la lisina, su producción fue de 18 000 toneladas en 1974 y Japón también se destaca como el mayor productor al igual que otros aminoácidos esenciales elaborados mediante procesos de fermentación. Como es el caso de la leucina, triptófano y treonina que se están fabricando a razón de 500-600 toneladas anuales con fines farmacéuticos.

iii) Producción de cultivos iniciadores. Los procesos fermentativos tradicionales de pan, vino y cerveza mediante levaduras son bien conocidos desde tiempos anteriores a la era cristiana. Sin embargo, en la actualidad estas industrias emplean preferentemente levaduras seleccionadas, desarrolladas y producidas en los países industrializados, donde se producen en forma industrial cultivos que son permanentemente sometidos a ensayos para evitar procesos degenerativos naturales que ocurren en los microorganismos.

Cultivos lácticos es el nombre genérico usado para clasificar un grupo de varias especies diferentes de bacterias útiles al hombre que se utilizan en muchos procesos de elaboración de alimentos tradicionales como quesos, cremas ácidas, yogurt, encurtido de hortalizas, embutidos crudos y

fermentados (salame) etc.. El uso de cultivos iniciadores para la elaboración de estos productos es una práctica común por parte de la industria alimentaria que ha entendido la importancia de mejorar su tecnología de manufactura, evitando fermentaciones indeseables y garantizando de esta manera productos de buena calidad.

La empresa Hansen Laboratorio de Dinamarca es la mayor empresa productora y comercializadora de iniciadores y otros insumos biológicos para la industria alimentaria.

e) Sector agrícola

En los últimos años ha surgido un enorme interés por investigar la aplicación de procesos microbiales al sector agrícola. Entre otros objetivos, se persigue por ejemplo la reducción del uso de insumos caros e intensivos en energía como son los fertilizantes (preferentemente nitrogenados) y otros como pesticidas cuya aplicación se cuestiona por el riesgo de contaminación de los alimentos.

Por ello los tópicos como fijación de nitrógeno, producción de pesticidas microbiales y mineralización del suelo mediante microorganismos se estudian con intensidad en muchos países.

i) Mineralización del suelo (micorrizas). Dentro de este campo se destaca el uso de hongos micorrizales, es decir, hongos que infectan beneficiosamente plantas cultivadas y silvestres y que permiten aumentar la absorción de nutrientes principalmente del fósforo. Este elemento está corrientemente presente en el suelo en bajas concentraciones, pero no es directamente utilizable por la planta por cuanto se encuentra en complejos químicos de difícil asimilación.

ii) Fijación de nitrógeno. El uso creciente de cultivos híbridos que responden muy bien a cantidades grandes de fertilización nitrogenada ha sido la causa de que la demanda de fertilizantes sintéticos se doble cada cinco años; sin embargo, los altos precios de los combustibles fósiles y del capital hacen poco probable que se construyan nuevas plantas para la producción de fertilizantes nitrogenados.

Los incrementos en los precios de los fertilizantes frenaron dramáticamente la llamada "Revolución Verde" que algunos países en vías de desarrollo han exitosamente logrado en los últimos años.

La fijación de nitrógeno por procesos biológicos presenta numerosas ventajas: se obtiene un reciclaje máximo de nutriente "in situ", se elimina la pesada carga que significa la producción, transporte y distribución del fertilizante nitrogenado y finalmente se reduce la contaminación ambiental y el elevado gasto de energía involucrado. Estas ventajas conducirán necesariamente a un uso más intensivo de microorganismos nitrificantes en la agricultura del futuro.

En este sentido, se han intensificado los estudios e investigaciones en bacterias del género Rhizobium que, en simbiosis con leguminosas, son fijadoras de nitrógeno. Puesto que cada especie de leguminosa forma nódulos a menudo con tipos específicos de rizobios se busca identificar aquellas especies que nodulan eficientemente. Asimismo, se investigan los factores que inciden en la nodulación (ej.: suelo) a objeto de que los nódulos viables de rizobios prosperen y realmente produzcan el beneficio de la fijación del nitrógeno.

La identificación de asociaciones de microorganismos fijadores de nitrógeno con plantas no leguminosas es otra área a la cual se le está dedicando esfuerzos serios de investigación.

Resaltan en este aspecto, los estudios sobre la asociación conocida como Azolla-anabaena.

Azolla pinnata es un helecho pequeño que flota e invade los terrenos inundados de arroz en Asia. Las pequeñas hojas de este helecho sirven de albergue para la alga azul-verde llamada Anabaena azolla.

Esta asociación es literalmente una fábrica de nitrógeno flotante que usa la fotosíntesis para fijar nitrógeno atmosférico. Fija de 100 a 150 Kg de N/ha/año, cálculo hecho en base a una biomasa de 4-60 toneladas. Se la usa en forma práctica en Asia, reportándose que este helecho Azolla es usado como alimento para cerdos y patos, siendo un abono verde de gran potencial.

El Instituto Internacional de Investigaciones del Arroz en Filipinas (IRRI) maneja una colección de seis especies de Azolla y varias razas adecuadas a las condiciones de clima tropicales. Este centro investiga, además, la fijación del nitrógeno asociada a bacterias radiculares no nodulantes en arroz. Espera, en colaboración con otras organizaciones, obtener resultados importantes con la aplicación de la ingeniería genética, no sólo en el propio

cultivo del arroz, sino que en fusión protoplasmática entre células de Azolla y Anabaena.

iii) Insecticidas microbiales. Se han identificado más de 1 500 microorganismos que en forma natural son entomopatógenos, es decir, que provocan algún tipo de enfermedad en insectos. Estos microbios pueden ser usados para inducir enfermedades o suprimir poblaciones de insectos directamente o en combinación con insecticidas químicos.

La búsqueda de alternativas para el control de insectos se justifica ante la necesidad imperiosa de reducir al máximo posible el uso de insecticidas químicos, de amplio espectro de toxicidad y que son ampliamente usados en los países industrializados en cantidad cada vez mayor.

La utilización de microbios entomopatógenos se enmarcaría dentro del concepto conocido como "manejo integral de pestes" en el cual se emplearían además otros sistemas de control biológico para pestes específicas. Muchos de estos enfoques están ya en aplicación experimental. La biotecnología de producción de estos entomopatógenos microbiales se encuentra bastante avanzada, empleando la tecnología de fermentación para reproducir bacterias y hongos; en el caso de otros microorganismos, obligatoriamente parásitos (virus y protozoos), se aplican técnicas de reproducción en tejidos vivos como los propios insectos.

Estas técnicas se usan comercialmente en varios países para la producción, por ejemplo, del Bacillus thuringiensis que es el bioinsecticida más conocido y ampliamente usado. Es un patógeno de larvas que afecta a más de 150 especies larvales. Preparaciones de Bacillus thuringiensis pueden ser usadas con insecticidas comerciales, fungicidas y varias materias adhesivas y humectantes.

iv) Hormonas vegetales. El ácido giberélico, obtenido por fermentación del hongo Gibberella fujikuroi, se emplea como una hormona vegetal que estimula el crecimiento de ciertas uvas y que mejora los procesos de malteo de la cebada. Esta hormona se está utilizando también para alterar la maduración y senescencia de otras frutas, lo que hace prever un incremento importante en su demanda.

f) Minería. En el sector minero se destacan dos aplicaciones importantes de la biotecnología, las que se relacionan con la lixiviación y recuperación de metales y la extracción de petróleo. Una de las características comunes

de estos procesos es el empleo de grandes volúmenes de microorganismos lo que en cierta forma introduce algunas interrogantes vinculadas a su aplicación industrial en forma masiva. Preocupan a este respecto el control sobre el comportamiento de los microorganismos y asuntos asociados con la posibilidad de provocar desequilibrios ecológicos.

i) Biolixiviación o hidrobiometalurgia. La hidrobiometalurgia se define como la utilización y manejo de la acción de bacterias en los procesos de metalurgia extractiva aplicado a varios tipos de minerales y sales. Numerosos microorganismos poseen propiedades específicas de transformar bioquímicamente diferentes sustratos minerales y solubilizan los metales contenidos. El microorganismo de mayor aplicación en la industria minero-metalúrgica es el Thiobacillus ferrooxidans, que es capaz de desarrollarse en sustrato de naturaleza heterogénea. Se le utiliza en la lixiviación de diversos minerales como son cobre, níquel, cobalto, uranio, zinc y otros. El proceso es atractivo porque posibilita la extracción de metales contenidos en minerales de baja ley o en ripios y lastres que quedan como desecho del faenamiento primario de minerales.

La biolixiviación está teniendo aplicación industrial en países como Estados Unidos, URSS, Australia, entre otros.

Esta habilidad de ciertos microorganismos de interactuar con los metales también se muestra atractiva para remover efluentes industriales de metales que producen contaminación. El proceso se muestra particularmente útil para bajas concentraciones donde los procesos tradicionales resultan costosos.

ii) Recuperación de petróleo. De los diversos métodos que se utilizan para la recuperación de petróleo de pozos existentes, el conocido como terciario (enhanced oil recovery (EOR)) y desarrollado hace relativamente poco tiempo, emplea productos químicos y métodos físicos para mejorar la movilidad del petróleo y facilitar su extracción. De los productos químicos empleados, uno de los que ofrece mejores perspectivas es un hidrocoloide o goma conocido como xantato o xantana (xanthan gum) que se produce por fermentación del microorganismo Xanthomonas campestris y al cual ya se hizo referencia en la sección a) párrafo iv). Este procedimiento tiene por el momento limitaciones derivadas por un lado del alto costo de producción del biopolímero y por otro de ciertos aspectos técnicos aún no debidamente aclarados.

g) Sector de servicios

El tratamiento de residuos o desechos es lo más importante de las aplicaciones de la biotecnología en cuanto a valor de mercado, alcanzando esta posición en atención al serio problema que presenta la contaminación ambiental en los países industrializados y que les ha llevado a crear leyes restrictivas anticontaminantes que obligatoriamente se han debido cumplir. En torno a esta situación se ha desarrollado una biotecnología altamente especializada en proceso de deposición y utilización de desechos. La mayoría de los desechos no tienen valor o tienen valor negativo, de ahí que su eliminación tenga, en la mayoría de los casos, un costo importante para que ella se realice sin afectar el medio ambiente.

3. La manipulación genética en la biotecnología

En 1973, biólogos moleculares idearon un método para transferir genes, es decir, las unidades de la herencia compuestas por ácido desoxiribonucleico (ADN) desde una bacteria a otra. Esta tecnología conocida como "ADN recombinante" hace posible realizar "ingeniería" de un modo altamente selectivo en material viviente.

Aunque el ADN recombinante ha despertado un enorme interés científico y público, otros procedimientos nuevos y de mucho potencial como es el cultivo de tejidos y células, y la fusión de protoplastos han también emergido como herramientas vitales de la biotecnología moderna.

Las posibilidades de aplicación de esta nueva biotecnología generada sólo en los últimos años, es muy diversa y potencialmente muy lucrativa. Estas perspectivas han motivado la formación de más de 130 centros de investigación en biotecnología industrial sólo en los Estados Unidos. La mayoría de las compañías petroleras, químicas, farmacéuticas han establecido sus propios laboratorios para la investigación en biotecnología.

El patrón de crecimiento de esta industria y el clima de inversión que la rodea es muy similar a aquella de la industria electrónica con inversiones de capital estimadas en más de mil millones de dólares.

Hoy en día, la mayor proporción de financiamiento e investigación en biotecnología se centra en el campo de la salud. Como resultado de esta inversión, la hormona del crecimiento, la insulina y la producción de drogas antivirales como el interferon pueden ser producidas, por primera vez, por microbios aumentándose así enormemente la disponibilidad de estos compuestos

microbios aumentándose así enormemente la disponibilidad de estos compuestos químicos y a un costo mucho menor.

Sin embargo, la fuerte presión que ejerce el crecimiento de la población mundial sobre la disponibilidad de alimentos hace prever que la biotecnología agrícola puede contribuir con nuevos aportes beneficiosos para este sector. La Revolución Verde de los años 60 fue producto del desarrollo de razas de trigo y arroz, de alto rendimiento y del suministro abundante de energía barata, situación que en la actualidad no se cumple.

Como resultado de lo anterior, existe una presión y urgencia por desarrollar variedades de plantas capaces de crecer en condiciones más adversas. Por ejemplo, variedades capaces de tolerar suelos salinos o incluso ser irrigadas con aguas de alto contenido salino, que sean más resistentes a pestes y enfermedades, capaces de autofertilización y resistentes a sequías. Tales desarrollos producirán también cultivos de alto rendimiento requiriendo significativamente menos aportes de energía para crecer.

El mercado para las aplicaciones de la biotecnología agrícola se estima alcanzará entre 50 y 100 mil millones de dólares en el año 2000.

a) Fusión celular

Consiste en tratar células con enzimas que disuelven sus paredes celulares, dejando células desnudas llamadas protoplastos. Mediante el uso de compuestos químicos, los protoplastos de dos especies diferentes pueden ser inducidos a fusionarse, formando una célula única conteniendo la información genética de ambas especies. Este procedimiento permite mezclar genes de diferentes especies que no se cruzan espontáneamente en la naturaleza.

La producción de anticuerpos monoclonales es uno de los ejemplos exitosos de fusión de protoplastos. Asimismo, se investiga la aplicación de esta tecnología de la fusión de protoplastos de especies diferentes de bacterias productoras de antibióticos (Streptomyces) con el propósito de generar nuevas estructuras de antibióticos como también aumentar el caudal de genes responsables de estimular el rendimiento de sustancias antibióticas.

Esta técnica puede también ser útil para transferir los genes específicos de fijación de nitrógeno de las leguminosas a las no leguminosas.

b) ADN recombinante

Con técnicas simples de laboratorio que involucran enzimas de restricción obtenidas de microorganismos, ha sido posible cortar moléculas de ADN en fragmentos cortos y mediante otras enzimas llamadas ligasas, juntar diferentes fragmentos para así obtener el ADN recombinante. El ADN recombinante puede ser introducido en una célula o protoplasto huésped mediante "vectores" específicos.

Esta notable técnica puede ser ilustrada a través de un ejemplo práctico con la hormona humana del crecimiento (HHC) que se usa para tratar niños deficientes en HHC que estadísticamente nacen 10 en un millón. La compañía sueca Kabi Vitrum es la principal productora mundial de HHC a partir de glándulas pituitarias de cadáveres. En un acuerdo comercial con la compañía norteamericana Genentech, ésta desarrolló mediante ingeniería genética el organismo capaz de producir esta hormona por fermentación.

Un amplio rango de proteínas terapéuticas tales como las HHC e insulina<sup>2/</sup> y agentes antivirales como el interferon ha sido producido y se espera obtener éxito en la producción de vacunas contra la hepatitis B, por ejemplo.

Aunque las aplicaciones médicas han sido las más inmediatas, quizás en el largo plazo las técnicas de ADN recombinante estarán más ligadas a la agricultura del futuro. Uno de los principales factores limitantes que impiden un aumento de la producción agrícola es el alto costo de los fertilizantes nitrogenados y tal como se ha mencionado, se requerirían varios cientos de nuevas plantas de amoníaco sintético -que a su vez demandarían varios millones de toneladas de equivalente de petróleo por año- para poder suplir las necesidades de fertilizantes nitrogenados. Esta mayor demanda de nitrógeno adicional puede ser lograda aumentando los niveles de fijación del nitrógeno biológico, por ello muchos trabajos de investigación se llevan a cabo en esta área. Se estudia por ejemplo, la posibilidad de introducir los genes de fijación de nitrógeno desde rizobios en plantas de cultivo que carecen del tipo de relación simbiótica que tienen las leguminosas. Estos nuevos métodos de mejoramiento genético suplementarán las técnicas clásicas convencionales pero no las reemplazarán de manera alguna.

---

<sup>2/</sup> Genentech en Estados Unidos ha comercializado ya la insulina microbial bajo el nombre de Humulin.



El progreso en ingeniería genética de plantas no ha sido tan exitoso hasta ahora como en medicina y en microbiología aplicada.

Una razón de esto ha sido la falta de un vector apropiado para transferir los genes extraños dentro del núcleo celular de las plantas. Como vectores se están usando microorganismos invasores de plantas como virus, bacterios como Bacterium tumefaciens que causa una especie de cáncer a muchas familias de plantas y es capaz de transmitir el ADN.

c) Cultivo de tejidos y células

La tecnología de ADN recombinante y fusión de protoplastos brevemente descrita sería de poco valor práctico si no fuera posible mantener las células en cultivo artificial e inducir las células genéticamente modificadas a desarrollarse en plantas completas. De aquí que el cultivo de tejidos, de células y protoplastos llegue a ser esencial. En estos procesos las células son inducidas a dividirse y a proliferar en medios de cultivo líquidos o sólidos que contienen azúcar, sal, hormonas y vitaminas.

El cultivo de protoplastos es de importancia en trabajos de ADN recombinante por cuanto los protoplastos son mucho más dúctiles a la manipulación externa que las células con paredes celulares. Los protoplastos prometen así ser blanco para la inserción de ADN extraño.

Bajo condiciones apropiadas, los protoplastos de algunas especies constituyen nuevas paredes celulares y dan origen a división celular, llegando a formar racimos de células llamadas callus. A través de un medio de cultivo que contenga un balance específico de hormonas, el callus desarrollará tallos y raíces para terminar su desarrollo en una planta entera.

Un protoplasto no es el único origen posible de un callus. La proliferación celular puede también ser inducida en tejido de plantas cultivadas o de órganos como hojas y pecíolos. Las plantas regeneradas a partir de tales tejidos pueden dividirse y cultivarse con posterioridad para su propagación a gran escala. Este proceso se conoce como clonación.

El callus puede también ser inducido a partir del polen, gameto masculino de las plantas en flor. Esta forma de cultivo de tejidos es de especial significación puesto que origina plantas haploides, es decir, células que contienen la mitad del número de cromosomas de las células somáticas. Aunque este procedimiento ha resultado más dificultoso que otros

tipos de cultivo de tejidos, se continúan los esfuerzos por estos cultivos. Tratamientos químicos in vitro de plantas haploides causan el desdoblamiento de los cromosomas y la planta regenerada después de este tratamiento contiene los dos juegos de cromosomas normales. Debido a que los dos juegos de cromosomas son idénticos, la planta es reconocida como una línea pura, de gran utilidad en programas de mejoramiento.

Otro procedimiento de cultivo de tejidos significativo es la propagación de una planta a partir de tallos en crecimiento o bien a partir de raíces llamadas meristema. Un tejido meristemático está libre de virus patógenos que a menudo dañan sustancialmente la productividad de la planta. Mientras los métodos convencionales de propagación de plantas dejan pasar estos agentes patógenos a las generaciones siguientes, el cultivo de meristemas provee material libre de enfermedades.

Una ventaja del cultivo de tejidos y células es la velocidad con que las células cultivadas pueden crecer hasta transformarse en plantas enteras. El tiempo requerido para el ciclo de reproducción varía entre especies; sin embargo, en muchos casos la clonación y la selección in vitro reduce sustancialmente el tiempo requerido para programas de mejoramiento.

Desde las condiciones controladas de laboratorio, las plantas en crecimiento son transferidas a invernaderos y al terreno mismo. A este nivel el fitotecnista debe evaluar si la manipulación genética ha producido especies económicamente deseables.

Al igual que con el cultivo de protoplastos, el cultivo de tejido y células está todavía en desarrollo. Las etapas del proceso de regeneración requiere de un alto grado de destreza manipulativa y aunque la regeneración desde cultivos es teóricamente posible para todas las especies de plantas, aún permanecen por investigarse las condiciones apropiadas para regenerar plantas económicamente importantes.

El cultivo de células de plantas está comenzando a ser usado en la producción comercial de compuestos químicos y farmacéuticos. En la medida que las técnicas de cultivo en gran escala y la recuperación sean mejoradas, el cultivo de células de plantas tendrá un tremendo impacto en la producción de una amplia gama de compuestos secundarios raros, escasos y caros. La aplicación de tal tecnología está siendo explorada para la producción de

drogas medicinales como esteroides, agentes anti-cáncer y antitumores; aditivos alimenticios naturales incluyendo sabores, edulcorantes y especias; anticonceptivos y un listado de compuestos químicos usados en la industria de cosméticos, perfumes y textiles.

d) El nuevo enfoque de la industria de semillas

El resultado económico de la aplicación de la biotecnología agrícola se verá en la industria de semillas. Las ventas mundiales al detalle de semilla totalizaron 45 mil millones de dólares en 1981 y se espera que alcancen a 60 mil millones de dólares en 1985. Indudablemente es una industria de una importancia económica trascendental.

La magnitud de este mercado ha hecho surgir un interés por parte de las firmas farmacéuticas y químicas multinacionales por entrar al negocio de las semillas. En la última década muchas pequeñas compañías productoras de semillas han sido compradas por grandes firmas subsidiarias de estas corporaciones.

La industria de semillas está experimentando un ajuste masivo a la nueva biotecnología de plantas. Hasta hace poco se había centralizado en la producción y mercadeo mientras que ahora muestra una clara orientación hacia la investigación.

Junto con esta situación han emergido compañías de I y D tecnológico en ingeniería genética y biotecnología que incluye a Sungene Technologies, Calgene, Plant Genetics, Phytogen, International Plant Research Institute (IPRI).

La mayor proporción del trabajo está siendo hecho en híbridos de maíz, sorgo y maravilla. El maíz, para el caso de Estados Unidos, ocupa el primer lugar del segmento de mercado de semilla (mil millones de dólares).

En trigo, varias empresas están intentando hibridar trigo usando métodos convencionales. Los híbridos de trigo aumentarán los rendimientos agrícolas en 25-30%.

Se está usando ADN recombinante para desarrollar razas de trigo, maíz y plantas no leguminosas que pueden fijar su propio nitrógeno. En el caso más optimista se espera que estas innovaciones biotecnológicas tendrán su aplicación a comienzos de 1990.

También se han logrado adelantos en la búsqueda de como sustituir el uso de tubérculos para las siembras de papa. El uso de tubérculos tiene un valor de 3 mil millones de dólares, equivalentes a 280 millones de toneladas. La posibilidad de producir semilla de papa y usarla para el cultivo representaría un ahorro de gran importancia tanto por el costo de semilla como por la mayor disponibilidad de alimento para la humanidad.

Las técnicas de cultivo de tejidos y células se están aplicando en el mejoramiento del cultivo del tomate de mayor contenido de sólidos.

Sin duda, la biotecnología de plantas es una herramienta útil para un mayor y acelerado proceso de mejoramiento de cultivares de plantas; de ahí que muchas compañías estén ingresando en esta actividad y financiando intensamente programas de desarrollo de la industria de semillas en el sentido indicado.

## Capítulo II

### SITUACION ACTUAL DEL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGIA EN AMERICA LATINA

Los resultados de la investigación que se presentan a continuación deben ser considerados como un primer intento para conocer el estado del arte de la biotecnología y de la ingeniería genética en América Latina en términos de investigación y desarrollo tecnológico como también de las aplicaciones en ciertas áreas de producción y servicios. Dado lo novedoso de esta recopilación no ha sido siempre posible contar con toda la información nacional y se necesitará de algún tiempo para mejorarla y ampliarla en el futuro y cubrir un mayor número de países y de áreas productivas. Por último, cabe también advertir que el actual desarrollo de las investigaciones y adelantos biotecnológicos en los países latinoamericanos están estrechamente ligados con el nivel nacional de avance en la industria, en particular, y de lo económico en general, lo que tiende a concentrar, con algunas excepciones, los mayores avances en investigación y aplicaciones industriales en los países de mayor desarrollo económico relativo.

A continuación se reseñan las principales investigaciones y avances en la región relacionadas con la producción de bienes y servicios según un esquema de presentación similar al del capítulo anterior de este documento con el fin de facilitar la comparación de cómo América Latina se inserta en el concierto mundial de cada área de esta nueva tecnología.

Destaca de esta primera investigación que la producción de etanol es el área de la biotecnología de mayor avance industrial en América Latina. Con respecto a otras áreas, los logros tanto industriales como en los servicios y en el plano de laboratorios no son todavía al parecer de mucha relevancia a escala regional.

#### a) Sector químico

i) Las enzimas. Los avances de la región en el sector enzimático han alcanzado un nivel industrial en la producción de algunas de ellas (renina, diastasa y amilasa por ejemplo) mientras la gran mayoría de las demás está todavía a un nivel de laboratorios.

La producción industrial de enzimas se concentra en la actualidad sólo en algunos países como Argentina, Brasil y México, donde muchas plantas son de capitales mixtos o pertenecen a consorcios internacionales. Estas empresas abastecen una gama muy amplia de enzimas que va desde la producción de proteasas de uso alimenticio como extensores de renina de uso en la industria quesera; proteasas alcalinas de uso en detergentes biológicos y también amilasas de aplicación en varias industrias alimentarias (panificación, glucosa de almidón).

En México, la empresa Pfizer abastece un segmento importante del mercado de las enzimas de uso en detergentes biológicos. En Brasil, además de las numerosas empresas transnacionales que operan como distribuidoras de productores importados desde su casa matriz, coexisten empresas nacionales productoras de enzimas tales como Okochi Laboratorio; SB Enzima; Otasa Enzima Cía. y BIOBRAS que pertenece al gobierno y a la Universidad Federal de Minas Gerais. Estas empresas son productoras principalmente de la enzima diastasa que se emplea en parte para mejorar el poder diastásico de las harinas de trigo de panificación.

Asimismo, BIOBRAS en Brasil ha logrado desarrollar una tecnología para producir amilasas, enzimas que se emplearían en gran escala en las plantas productoras de alcohol a partir de yuca (mandioca); allí el almidón es hidrolizado en glucosa para ser posteriormente fermentado a etanol.

Con respecto a otras enzimas, el principal mercado sigue siendo el de la renina, o cuajo como también comúnmente se le denomina, obtenida de terneros lactantes y usada en la elaboración de queso. Sólo algunos países (México, Argentina y Brasil) poseen industrias productoras de renina. El resto de los países de América Latina importan estas enzimas preferentemente desde los Países Bajos que dominan el mercado mundial.

Una característica común a muchos países de la región, es el escaso aprovechamiento de los subproductos de la industria de carnes (páncreas, hígados, proventrículos de aves) de los cuales se podrían extraer y purificar extractos enzimáticos de uso farmacéutico e industrial. Este desaprovechamiento obedece en la mayoría de los casos al bajo nivel técnico y empresarial de las plantas faenadoras de carne, con la excepción de la industria frigorífica que opera para la exportación, donde muchos de esos órganos son congelados y vendidos como materia prima a países desarrollados.

En cuanto a enzimas vegetales, la papaína extraída del latex de la papaya, no es producida en cantidades significativas en la región pese a condiciones climáticas favorables para la explotación de este recurso y a la existencia de un mercado mundial de cierta importancia.

A nivel de investigación, numerosas instalaciones llevan a cabo trabajos en el campo de las enzimas. En México, en el Centro de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional de México y en el Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CISA-IPN) se estudia la lactasa (enzima que hidroliza la lactosa de la leche) por su importancia nutricional ya que cierta proporción de la población no tolera la leche y su consumo le provoca trastornos digestivos.

En Brasil se destacan las investigaciones orientadas a la identificación de nuevas cepas de hongos productores de celulosas, que como se mencionó anteriormente, constituyen uno de los factores claves para poder utilizar los residuos lignocelulósicos para la producción de alcohol.

En el campo de las enzimas de uso científico como son las enzimas de restricción, que se emplean en ingeniería genética, algunos países están desplegando esfuerzos para producirlas localmente, como son los casos de México y Brasil.

El pequeño mercado de enzimas existentes en los países más pequeños de América Latina ha sido un factor limitante que ha impedido que muchas investigaciones tecnológicas realizadas en la producción de estos compuestos no hayan fructificado en la instalación de plantas industriales. Es el caso de Chile en que varias universidades como la Católica de Valparaíso, la Austral y la de Chile, han estudiado acabadamente la producción de enzimas, sin desembocar en ningún proyecto industrial.

ii) Acidos. La empresa transnacional Miles es líder en tecnología de producción de ácido cítrico y posee plantas en México (MEXANA), en Colombia, Brasil y Argentina. La empresa Pfizer también vende y distribuye este ácido en los países productores.

La empresa japonesa Ajinomoto posee plantas productoras de ácido glutámico en Perú y Brasil. No se tiene información que se realicen investigaciones en la producción de ácidos en la región.

iii) Biopolímeros. Se recordará que los xantatos o xantanas son biopolímeros con gran potencial de uso en la recuperación de petróleo. La Universidad de Campinas de Brasil bajo contrato con PETROBRAS está investigando la producción industrial de este biopolímero. De igual forma Petróleos Mexicanos (PEMEX) financia investigaciones tecnológicas para la producción de xantanas en el Centro de Investigaciones Biomédicas de la UNAM. El Caribbean Industrial Research Institute (CARIRI) en Trinidad y Tabago está llevando a cabo también investigaciones de recuperación terciaria de petróleo.

Los avances que se logren en este campo pueden ser de interés para otros países de la región, productores de hidrocarburos.

b) Sector farmacéutico

i) Antibióticos. Sólo en los países con un mercado de cierto volumen se han instalado plantas productoras de antibióticos. En su mayoría pertenecen a consorcios transnacionales; en México, Brasil y Argentina operan varios laboratorios como Pfizer, Upjohn, Abbot. Empresas mixtas (FERMIC en México y CIBRAN en Brasil) producen varios antibióticos con tecnología italiana. Argentina posee plantas nacionales como Bagó, Laplex, etc.

Con referencia a la investigación tecnológica en antibióticos, el Programa de Biotecnología de México a través de la UNAM pone énfasis en el desarrollo de tecnologías propias para producir el ácido 6-amino penicilínico, materia prima de la penicilina.

Otro mercado de importancia potencial para los antibióticos es su uso en la formulación de alimentos para animales. La investigación en esta área es escasa e insuficiente, sin embargo podrían eventualmente ser producidos localmente por industrias de fermentación que operarían plantas de baja exigencias sanitarias y sin grandes controles de pureza.

ii) Vacunas. En términos generales, las vacunas son empleadas en campañas de salud que ejecutan las diferentes agencias estatales encargadas de programas de prevención de enfermedades. Además, por ser sustancias que tienen, en algunos casos, acción prolongada, el valor de mercado de las vacunas no es de mucho interés comercial. Por ello en casi todos los países existe una producción local de vacunas. Más aún, existen enfermedades



autóctonas que deben ser necesariamente estudiadas y atacadas a través de soluciones propias a cada país como lo constituye por ejemplo la enfermedad de Chagas.

La enfermedad de Chagas afecta a la población de ciertas regiones de Brasil, Uruguay, Paraguay, Argentina y otros países. Otro caso lo constituye el alto índice de amebiasis aguda y crónica en la población mexicana. De ahí que, en ese país, se está dando un especial énfasis para estudiar los factores de virulencia de estos parásitos. Se pretende producir vacunas contra esta enfermedad mediante ingeniería genética.

En Chile, sólo el Instituto de Salud Pública produce vacunas antitetánica y antidiftérica con el fin de abastecer las necesidades nacionales e incluso para exportación.

Dentro de la larga lista de enfermedades animales, resalta por su importancia económica la fiebre aftosa que aún es endémica en varios países de América del Sur. En 1967 ya se evaluaban las pérdidas anuales provocadas por esta enfermedad en 400 millones de dólares por concepto de muertes, pérdidas de peso y medidas sanitarias tomadas para combatirla, sin considerar en este análisis las mermas resultantes en las exportaciones de carne. 3/ En tales condiciones ha resultado difícil expandir la producción y la industrialización de la carne.

Pese a los diversos esfuerzos realizados para producir diferentes tipos de vacunas anti-aftosa esta enfermedad aún no ha sido erradicada de la región. Se esperan contribuciones importantes en el desarrollo de la tecnología de producción de anticuerpos clonales y recombinación de ADN en la producción de vacunas polivalentes mejoradas. El Departamento de Virología del Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina está buscando obtener vacunas contra el virus aftoso mediante la síntesis química de péptidos y por ingeniería genética. La obtención de una vacuna de alto grado de inminidad permitiría a la Argentina erradicar esta epizootia en 3 a 4 años.

---

3/ Argentina y Uruguay han ido perdiendo terreno relativo en el mercado mundial de la carne a causa de las barreras sanitarias impuestas a sus exportadores de carnes y por sus principales compradores (Estados Unidos, Comunidad Europea y Japón, entre otros).

Asimismo en Brasil con el apoyo del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico y la Financiadora de Estudios y Proyectos (CNPq-FINEP) se ha creado en 1982 un Centro de Biotecnología adjunto al Instituto de Pesquisas Agronómicas (IPAGRO) en Porto Alegre que está iniciando investigaciones en el desarrollo de producción de anticuerpos monoclonales y de ADN recombinante para la producción de vacunas mejoradas en aftosa.

La alta incidencia de hidatidosis lleva a investigar también la posibilidad de aplicar ingeniería genética para producir una vacuna contra esta enfermedad.

En resumen, los esfuerzos en investigación para desarrollar vacunas son escasos en América Latina con excepción de los proyectos orientados a erradicar la fiebre aftosa.

iii) Hormonas, Interferon y Esterioides. En el campo de las hormonas, la reciente creación del Centro de Biotecnología e Ingeniería Genética del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM en México está abocado a desarrollar tecnologías de producción de insulina microbial. Es uno de los pocos centros en la región que investigan en este tipo de hormonas.

Con referencia a los interferones, el laboratorio SIDUS de Argentina produce a nivel comercial esta droga, mediante el cultivo de leucocitos humanos e inducción virosa. El proceso de producción es costoso ya que está limitado por la disponibilidad de dadores de sangres, por esta razón el laboratorio ha iniciado trabajos en ingeniería genética.

En Cuba, el Centro de Investigaciones Biológicas de La Habana ha logrado producir interferon a partir de sangre humana. Se ha procedido recientemente a la experimentación clínica para evaluar su uso en la lucha contra enfermedades tropicales virales (como el dengue, por ejemplo) y otras provocadas por virus tales como la hepatitis o la gripe. El Centro está también explorando la posibilidad de obtener interferones mediante técnicas de ingeniería genética.

En esteroides, México es productor de numerosos compuestos químicos obtenidos de plantas y que sirven como base para la producción de diferentes tipos de drogas. El Departamento de Biotecnología del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (IPN) precisamente estudia métodos biológicos de transformación de estructuras esteroi-  
dales en productos terminados.

c) Sector energía

i) Etanol. La producción de etanol puede ser considerada en la actualidad como la aplicación biotecnológica de mayor avanzada industrial en América Latina; además, varias instituciones de la región están llevando a cabo diversas investigaciones tecnológicas en este campo.

Sin lugar a dudas el Programa Nacional de Alcohol de Brasil (PROALCOOL) constituye el ejemplo más evidente de los esfuerzos que despliega ese país en el sector energía. La magnitud alcanzada en la producción de alcohol ocupa un lugar destacado en conversión de biomasa agrícola a biocombustibles, como es la utilización de caña de azúcar para la producción de etanol.

En Guatemala, el Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial (ICAITI), por varios años ha mantenido una línea de investigaciones en producción de etanol a partir de la caña de azúcar y del sorgo dulce. Estas investigaciones han culminado en un proceso patentado denominado "Exferm" que se caracteriza por la fermentación directa de la caña picada, sin pasar por la operación previa de extracción del jugo en equipos de prensado continuo. 4/

Con relación a la investigación tecnológica, muchas instituciones estudian diferentes aspectos de interés y soluciones a problemas energéticos apremiantes. El Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT) de la Universidad de Sao Paulo ha desarrollado procesos continuos de fermentación basados en sistemas de recuperación y recirculación de levaduras. Se espera poner en marcha este proceso con fermentadores de una capacidad de 300 000 litros.

El sector privado brasileño está invirtiendo también en investigación. La Cooperativa de Productores de Azúcar (COPESEUCAR) posee numerosas plantas productoras de alcohol y ha estado financiando proyectos tendientes a comprobar la eficiencia de diferentes levaduras con el fin de desarrollar procesos de fermentación alcohólica continua.

La abundancia de residuos lignocelulósicos en la región ha estimulado las investigaciones orientadas hacia su utilización para obtener etanol.

---

4/ El costo de producción de etanol se reduce sustancialmente por efecto de que la inversión es bastante menor, comparativamente al proceso clásico de extracción de jugo y su posterior fermentación. Se espera, con el apoyo de la ONUDI desarrollar una planta piloto de una capacidad de 1-2 toneladas de caña por día. Este proceso ha sido experimentado en Israel y Australia

En Brasil se busca aprovechar el bagazo de caña y otros desechos agroindustriales abundantes como paja de algodón, cascarilla de arroz, paja de cereales, etc. Por ello algunas instituciones trabajan en la producción comercial de celulosas (BIOFER-UFPE) y en tratamientos fotoquímicos de degradación de clulosa (UNICAMP) etc.

En Chile la Escuela de Ingeniería Bioquímica de la Universidad Católica de Valparaíso está llevando a cabo estudios de evaluación económica para la producción de etanol utilizando celulosas.

El ICATTI en Guatemala también ha investigado la utilización de residuos húmedos del café, provenientes del beneficio primario del fruto recién cosechado en vista a su aprovechamiento para producir, entre otros, etanol y metano. 5/

La Universidad de Salta (Argentina) por su parte ha estado investigando la producción de alcohol a partir de diferentes sustratos.

En conclusión se puede señalar que la investigación biotecnológica para producir alcohol es el área más estudiada en la región. Se ha podido detectar en esta esfera una cierta cantidad de duplicación de esfuerzos que convendría coordinar.

ii) Metano (Biogas). La contribución de la producción de metano a las necesidades energéticas de América Latina es, hasta ahora, relativamente baja y poco significativa. Sin embargo, ha existido un interés permanente por desarrollar esta área, como lo prueba la creación de una Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Biogas que fomenta la construcción de digestores. 6/

---

5/ La cantidad de pulpa y mucílago disponible teóricamente en la región centroamericana alcanza a 600 - 800 000 toneladas anuales, residuo que debe ser de alguna forma aprovechado a objeto de prevenir contaminación ambiental. También el tratamiento en parte de estos residuos puede desembocar en la producción de metano (biogas) que se utilizarían en el secado de los granos de café.

6/ La Empresa Brasileña de Asistencia Técnica y Extensión Rural actúa como institución coordinadora regional en la cual participan varios países de América Latina a través de su propias instituciones estatales.

Brasil cuenta con alrededor de 3 500 digestores en actividad y ocupa el primer lugar en América Latina. Además, en digestión anaeróbica se ha progresado en la utilización de las vinazas (residuos provenientes de la producción de alcohol) mediante el empleo de fermentadores de tipo upflow. 7/ Estos adelantos tecnológicos permitirán dar solución al grave problema de contaminación de las vinazas y generar un gas combustible que serviría para suplir las necesidades energéticas en la destilación de alcohol.

Cabe mencionar los esfuerzos que está desplegando en Guatemala el Centro Meso Americano de Estudios sobre Tecnología Apropiada (CEMAT) que ha contribuido a la construcción local de 50 digestores en comunidades rurales. El gas es aprovechado como combustible para las cocinas de centros de salud, para el alumbrado e incluso para la refrigeración.

Actualmente existen en el Perú, diseminados en todo el país, unos 60 digestores de diferentes tamaños y tipos. En Chile existe una abundante experiencia y conocimientos en biogas. A pesar de estos esfuerzos, la biogestión no se emplea extensivamente, existiendo solamente dos a tres biodigestores. 8/ Un número similar de digestores existe en Bolivia, país donde recientemente se iniciaron investigaciones sobre biogas.

La producción de biogas constituye una alternativa energética promisoría para muchos países de la región. Es un área que deberá experimentar una expansión en los próximos años, sobre todo si se considera desde el punto de vista de su contribución a resolver ciertos problemas de contaminación ambiental.

---

7/ Este desarrollo ha sido inventado por IPT-USP en Brasil que lo ha ensayado ya tres años consecutivos en fermentadores de 10 000 litros de capacidad. Se encuentra en construcción un reactor de 100 000 litros en la usina de la empresa ADALCOOL, como parte de los estudios de escalamiento industrial.

8/ Paradojalmente un volumen importante de gas metano producido en los depósitos de basuras en las afueras de la ciudad de Santiago es recuperado y aprovechado comercialmente por la compañía de gas de la capital, constituyendo una experiencia única en América Latina.

d) Sector alimentos

i) Proteínas unicelulares (PUC). Casi todos los países de la región, siguiendo la corriente y tendencia de los países industrializados, se abocaron a investigar la producción de las PUC durante los años sesenta. El interés para producir proteínas unicelulares a escala industrial ha desaparecido casi por completo debido a los elevados costos de producción, al igual que en los países centrales.

Pese a este retroceso, algunos países de América Latina prosiguen las investigaciones para producir PUC con el fin de encontrar una salida a sus deficiencias crónicas de granos básicos. En México, destacan las investigaciones del CIEA-IPN utilizando el metanol como sustrato para la producción de proteínas. La experiencia del centro en manejo de cultivos (posee una colección de más de 1000 cepas únicas en América Latina) le ha permitido identificar y seleccionar cepas altamente productivas para la producción de PUC.

Con relación a las algas, en México se ha investigado bastante la producción de Spirulina, alga microscópica que crece en forma natural en el lago Texcoco. La empresa Sosa Texcoco la explota ya con fines comerciales, siendo uno de los pocos ejemplos de producción de algas en el mundo. Sin embargo, su precio (US\$ 2.50/kg) no le permite competir con otras fuentes convencionales de proteínas, por lo que se emplea en la elaboración de productos especiales como tabletas dietéticas reductoras de peso.

En los países de América Central, que son productores importantes de café y de cuya industrialización primaria se origina una cantidad enorme de desechos húmedos (pulpa y mucílago de café), que por el momento constituyen una fuente de contaminación, se ha pensado en el enriquecimiento de su contenido de proteínas y ser aprovechado en mejor forma en la alimentación animal. Es así como la producción de proteína fungal ha sido estudiada por ICAITI como una alternativa de aprovechamiento más noble de este residuo del café.

Chile ha sido activo en la investigación de microalgas marinas. El Departamento de Biofísica de la Universidad de Chile ha estado estudiando la producción de microalgas en sistemas integrados aplicando tecnologías apropiadas (por ejemplo, agitación eólica del medio) a nivel de planta piloto.

Por el hecho de que el país cuenta con un extenso litoral marítimo desértico, se investiga la posibilidad de producir algas usando el agua de mar como medio de cultivo bajo el nuevo concepto llamado biosalino. Este concepto biosalino es un área nueva de investigación que apunta a buscar medios productivos para zonas costeras marítimas desérticas.

En la Argentina, el Centro de Investigaciones y Desarrollo de Fermentaciones Industriales (CINDEFI) de la Universidad de la Plata estudia la producción de una alga que se caracteriza por no poseer pared celular e investiga el enriquecimiento de desechos agroindustriales con fines de alimentación animal.

En términos generales, la gran mayoría de los países latinoamericanos es exportadora neta de proteínas de consumo humano y animal (con las debidas excepciones) tales como tortas desgrasadas de oleaginosas de algodón, soya, girasol, harina de pescado y carnes rojas, y subproductos de matadero y por ello la investigación y producción de proteínas microbiales no ha alcanzado todavía un nivel de exigencia inmediata, con la excepción de México.

ii) Aminoácidos. La situación deficitaria en proteína que presenta México ha favorecido la instalación de plantas productoras de aminoácidos en este país: FERMEX, empresa mixta mexicana-japonesa produce lisina y ALBAMEX fabrica alrededor de 3 000 toneladas anuales de metionina. América Latina es un mercado importante para ambos aminoácidos ya que consume el 15% de la metionina y el 20% de la lisina producida a nivel mundial, estimándose las importaciones en US\$ 24 millones y 15 millones, respectivamente.

Sin embargo, la investigación y desarrollo tecnológico en esta área es escasa en América Latina. Sólo el Departamento de Biotecnología de la UNAM de México ha investigado la producción de triptofano que es un aminoácido esencial en la formulación de alimentos balanceados de consumo animal.

iii) Cultivos iniciadores. En la mayoría de los países de la región no existen industrias propagadoras de cultivos iniciadores, y las existentes son subsidiarias de firmas multinacionales.

Así, por ejemplo, en cultivos lácticos de uso preferente en productos lácteos, la firma danesa Hansen posee una planta en Argentina destinada a cubrir la distribución de sus productos para Sudamérica. En Brasil, las levaduras seleccionadas de uso en panificación y fermentación alcohólica de vino, cerveza y en la producción de etanol carburante son suministradas por la empresa transnacional Fleischman de alta especialización en esta área.

En Chile, el Centro Tecnológico de la Leche de la Universidad Austral está desarrollando una línea de producción comercial de cultivos iniciadores lácteos.

En conclusión, la producción comercial de cultivos iniciadores no reviste una complejidad tecnológica mayor, estimándose que es una área industrial que perfectamente bien algunos países estarían en condiciones de poder desarrollar a través de pequeñas plantas de fermentación y que podría ser objeto de proyectos de cooperación regional.

e) Sector agrícola

i) Micorrizas. Varios países están realizando investigaciones en la absorción del fósforo y su relación con micorrizas y otros microorganismos que intervienen en la solubilización de este elemento esencial para las plantas. Es así como el CINDEFI de la Universidad de La Plata está abocado a estudiar estos aspectos. En Chile, las Escuelas de Ingeniería Forestal de las Universidades de Chile y Austral se dedican a determinar los efectos de micorrizas en plantaciones forestales.

ii) Fijación de nitrógeno. El Instituto de Investigaciones Agrícolas (IPAIRO) de Porto Alegre ha llevado a cabo investigaciones para identificar, probar, propagar 9/ y controlar los rizobios inoculantes de leguminosas.

---

9/ Existen también en el Brasil cuatro empresas privadas que producen comercialmente inoculantes de leguminosas.



Posee una colección de 943 cepas de rizobios y controla la calidad de inoculantes de cultivos de leguminosas como la soya, el frejol, maní y otras leguminosas de grano. Además, su labor como Centro de Recursos Microbiológicos en Rizobios (MIRCEN), apoyada por UNESCO, ha permitido capacitar profesionales en las técnicas de producción de rizobio en América Latina.

En EMBRAPA, han sido identificadas nuevas especies de bacterias fijadoras de nitrógeno en ciertas plantas y este descubrimiento abre un campo nuevo en la búsqueda de soluciones al problema de la fertilización nitrogenada.

En México la UNAM ha creado un centro de fijación de nitrógeno en Cuernavaca, que estudia los caminos tradicionales de fijación vía rizobios y junto con el Centro de Ingeniería Genética de esa misma ciudad, iniciaron trabajos en la búsqueda de bacterias fijadoras de nitrógeno.

En Chile, la Universidad de Concepción ha introducido técnicas de propagación de cultivos de rizobios y ha asesorado a empresas privadas para la producción comercial de los mismos.

En Argentina, el CINDEFI también estudia la fijación de nitrógeno mediante rizobios en frejol y los factores que afectan una nodulación normal en ese cultivo.

Se puede concluir que la mayoría de los países de la región han tomado conciencia de la necesidad de hacer un uso más intensivo de las posibilidades que brinda la fijación de nitrógeno mediante el cultivo de leguminosas en simbiosis con rizobios. No obstante, no se tiene antecedentes sobre investigaciones de fijación de nitrógeno en el cultivo de arroz en los países de la región.

iii) Pesticidas microbiales. Esta es una área nueva que también está tomando una importancia creciente en los países de América Latina. Es así como la subestación entomológica en la ciudad de La Cruz perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en Chile, tiene una tradición de más de 40 años en control biológico de insectos, habiendo experimentado con pesticidas microbiales de tipo B. thuringensis. La Escuela de Agronomía de la Universidad de Chile también está investigando estos tópicos sobre pesticidas microbiales.

El CINDEFI de la Universidad de La Plata también investiga la producción de bioinsecticidas en base al cultivo de Bacillus thuringensis.

Varios otros países trabajan en esta área en que cabrían acciones de cooperación regional.

iv) Hormonas vegetales. No se tiene conocimiento hasta el momento de trabajos de investigación en América Latina en la producción de ácido giberélico, hormona vegetal de uso cada día más amplio en la agricultura. Se le emplea en pequeñas dosis en la producción de uvas de exportación como es la variedad Sultanita (Thompson Seedless). Por ello debería ser de interés para países como Chile, México y Argentina que son productores y exportadores de este rubro frutícola.

En el caso de Chile, el valor de mercado de esta hormona vegetal es superior a los US\$ 3 millones y la tecnología de producción podría ser perfectamente desarrollada en plantas de fermentación de baja capacidad de producción y sin mayores exigencias y controles sanitarios que podrían requerir otros insumos de uso agropecuario.

v) Cultivo de tejidos vegetales. Numerosas instituciones realizan labores en biotecnología agrícola. El Instituto Agronómico de Campinas investiga el cultivo de tejidos; esta técnica se aplica al mejoramiento de los rubros agrícolas más importantes del Estado de Sao Paulo como son el café, la caña de azúcar, los cítricos, el ajo, la palma aceitera.

Esta tecnología no está siendo usada en toda su potencialidad en cuanto a servir con propósitos de mejoramiento genético de plantas. Tan sólo se la conoce como una técnica de propagación, por muchas de las instituciones que realizan trabajos de investigación agrícola. No ha sido explotada o se desconoce en la región su verdadera potencialidad en manipulación genética.

f) Minería

La actividad más destacada en la región en materia de aplicación de la biotecnología en el campo de la minería la constituye la biolixiviación o hidrometalurgia. La importancia económica de procesos biológicos aplicados a las actividades de la minería es evidentemente de gran relevancia para muchos países de América Latina cuyas economías se basan en la exportación de minerales.

En Chile, estudios realizados por universidades y centros de investigación estiman que el volumen de cobre fino que potencialmente podría ser recuperado vía lixiviación bacteriana en los 20 próximos años podría alcanzar a 4 a 8 millones de toneladas. Las perspectivas de aprovechar estos recursos en el país han llevado a sus numerosas instituciones públicas y privadas estén estudiando esta tecnología conscientes de la importancia de su aplicación principalmente en ripios y lastres; algunas de ellas se encuentran en la implementación de ensayos demostrativos de esta tecnología.

Por otra parte, se está llevando a cabo en Bolivia y el Perú el proyecto andino de desarrollo tecnológico en el área del cobre. 10/ El PADT-cobre en su primera fase, ha permitido fortalecer la capacidad de investigación en hidrometalurgia de ambos países y dotándolo de una infraestructura de laboratorios para desarrollar, entre otras, técnicas de lixiviación bacteriológica y capacitar ingenieros y técnicos. En su segunda fase, se tratará de aplicar estos conocimientos a la recuperación polimetálica de los relaves.

g) Sector de servicios

El problema de contaminación por las aguas servidas de alcantarillado tiende a cobrar una importancia cada vez mayor en muchos países de la región. La morbilidad provocada por enfermedades como fiebre tifoidea, hepatitis, infecciones parasitarias (amebas, lambdias, etc.) ha aumentado en forma dramática en los últimos años.

La contaminación con residuos de metales pesados provenientes de efluentes de minería son también de enorme envergadura y está alcanzando niveles peligrosos de contaminación de aguas en ciertas zonas de América Latina. Si no están tratados a tiempo, los efectos propios de ello provocarán daños irreversibles en las diversas formas de vida acuática.

---

10/ Véanse Grupo Andino, Decisión 84: Bases para una política tecnológica subregional, que señala la necesidad de programar el desarrollo de actividades conjuntas para fortalecer la capacidad de investigación y desarrollo y su vínculo con los sistemas de producción y Decisión 86: Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área del Cobre.

La demanda por este tipo de servicios de descontaminación o de su control es todavía muy reducida en América Latina y, por lo tanto, el desarrollo industrial de esta área de la biotecnología es aún limitada. No obstante, varias instituciones trabajan en este ámbito. Tal es el caso del CINDEFI en Argentina, del CIRA-IPN de México, de la Escuela de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Chile y de muchas otras. Se espera que las contribuciones de estos estudios, sobre todo aquellos orientados a analizar los niveles de contaminación ambiental, por ejemplo, de efluentes de residuos industriales, servirán para ayudar a tomar decisiones por parte de las autoridades de los respectivos gobiernos.

### Capítulo III

#### CONSIDERACIONES FINALES: ALGUNAS AREAS PRIORITARIAS DE LA APLICACION DE LA BIOTECNOLOGIA Y LA COOPERACION REGIONAL E INTERNACIONAL

Existe un juicio bastante difundido y generalmente aceptado que la biotecnología incluida la ingeniería genética es no sólo un adelanto tecnológico al cual pueden acceder los países en desarrollo sino también un medio a través del cual pueden estos países resolver muchos e importantes problemas vinculados a su desarrollo económico y social. Se señala por un lado que el mundo en desarrollo dispone de abundantes recursos de biomasa y que la tecnología básica, a diferencia de otras tecnologías, como por ejemplo la nuclear o la microelectrónica, es relativamente simple, accesible y de bajo costo. A este respecto, se ha llegado a expresar que la introducción de los procesos biotecnológicos no presentaría mayores problemas para los países en desarrollo en términos de efectos negativos de tipo socioeconómico, como sería el caso del empleo o de la dependencia externa, que caracterizaría la introducción de otros avances tecnológicos como los mencionados. Por otra parte, se invocan aplicaciones de la biotecnología que podrían influir notablemente en el mejoramiento de las condiciones de vida de los países en desarrollo por su contribución al abastecimiento de alimentos y elevación del nivel nutricional; por su favorable impacto en el campo de la salud y la higiene; por la oportunidad que ofrece para la producción de muchos productos químicos, farmacéuticos que favorecerían además la producción industrial; por las oportunidades que abre al abastecimiento de energía mediante fuentes no tradicionales y renovables; por su efecto positivo en mejorar el medio ambiente y evitar la contaminación, etc.

Hay otras posiciones, por cierto, que sin desconocer estas potencialidades y bondades de la biotecnología, introducen cierta cuota de cautela que se apoya en consideraciones no tan optimistas en cuanto al estado del arte y la entrada en operación de estas tecnologías, en las exigencias de una infraestructura científico-tecnológica mínima y también en ciertos aspectos económicos no tan claramente favorables frente a procesos tradicionales de producción.

No es el caso entrar en esta oportunidad a examinar en detalle los diferentes aspectos en pro y en contra de estas posiciones evidentemente extremas y sólo cabe recoger aquí algunos planteamientos que parecen ser valideros en ambas postulaciones y que conviene retener para el momento de evaluar el caso de la América Latina.

En primer término existe un consenso en reconocer en la biotecnología un avance tecnológico que tendrá un impacto muy significativo en los problemas del desarrollo de largo plazo que enfrentará la humanidad a los años venideros. También se acepta que la aplicación de los procesos biotecnológicos es un campo eminentemente multidisciplinario que demanda la participación de un amplio rango de científicos y profesionales en diferentes disciplinas como ser microbiología, bioquímica, biología molecular, biología celular, genética, ingeniería química, síntesis orgánica, etc. En este orden de ideas se sostiene que el éxito en el uso y en el aprovechamiento de las potencialidades que ofrece la biotecnología está íntimamente ligado a los avances que se logren y al apoyo que se reciba de las ciencias básicas que la sustentan; esta interacción ha hecho ubicar a las actividades de desarrollo de la biotecnología en frontera entre la investigación básica y la aplicada. Un último aspecto que cabe destacar en esta breve reseña es el que se refiere a la necesidad de llevar a cabo estudios de factibilidad económica como también del impacto de estos procesos en el largo plazo. Aunque los procesos biotecnológicos no parecen presentar las implicaciones socioeconómicas que caracterizan a otras tecnologías de avanzada, no por ello dejan de presentar ciertas características ventajosas como restrictivas, que deben ser evaluadas frente a las alternativas que ofrecen las tecnologías tradicionales. El nivel y la infraestructura tecnológica disponible, los volúmenes de producción y las correspondientes economías de escala, las inversiones requeridas y la complejidad de las operaciones, la disponibilidad de materias primas y el manejo de los residuos, etc. son entre otros, aspectos que deben ser considerados atentamente. En ello, por cierto, hay un elemento importante a tener presente y que se vincula al destacado papel y a la acción favorable que puede tener la cooperación regional y la internacional en la resolución de los problemas señalados como de muchos otros. La decisión de la comunidad internacional de establecer un Centro Internacional

de Ingeniería Genética y Biotecnología es un hecho que tendrá una significación importante para la América Latina en materia de cooperación y coordinación de las actividades en esta área como en la materialización de las iniciativas que surjan de aplicación de esta tecnología a los medios productivos y de los servicios de la región.

Todo lo anterior estaría indicando la importancia y la necesidad que reviste para América Latina examinar sus posibilidades en este campo, definir sus áreas prioritarias y fijar las pautas para la acción que le permitan llevar adelante sus actividades en esta área de la biotecnología.

Con las debidas excepciones la mayoría de los países de América Latina muestra un deterioro en su agricultura, que se expresa en un creciente déficit en la producción de granos básicos y rubros alimenticios nutricionalmente importantes como leche y carne, que son suplidos mediante importaciones, generando un gasto importante de divisas. Asimismo, la producción de cultivos tropicales (cacao, caña de azúcar, café, banano, yuca, palma aceitera, etc.) es fundamental para la economía de muchos de los países de la región. La biotecnología agrícola y la ingeniería genética de plantas y animales puede contribuir notablemente a resolver muchos de los problemas actuales de la agricultura regional. Surge entonces como prioritario desarrollar esta área de la biotecnología, de cuyos resultados se esperan importantes avances en el control de enfermedades de animales (aftosa), la creación de variedades de plantas resistentes a enfermedades, tolerantes a suelos salinos, con características de fijación de nitrógeno y muchas otras que permiten abrigar fundadas esperanzas de drásticos aumentos en la productividad agrícola.

La región no está ausente a la crisis del petróleo y muchos de los países latinoamericanos son fuertemente deficitarios en su consumo. Además, en términos globales la región no cuenta con recursos importantes de combustibles fósiles como carbón de modo que aquellos países actualmente productores y exportadores de petróleo, una vez agotadas sus reservas también enfrentarán serios problemas de energía. Esta situación especial deja en evidencia la necesidad de buscar soluciones propias, como es la posibilidad que brinda la producción de biomasa y su utilización en la producción de combustibles como etanol y metano. Por ello la biotecnología aplicada al

sector energía ocuparía también una alta prioridad para la región, que ya cuenta con un desarrollo y experiencia abundante en tecnología y uso de estos biocombustibles.

Con referencia a otros sectores, se considera que algunas actividades productivas específicas tendrían una alta prioridad máxima. Dentro del sector químico y vinculado con actividades mineras aparece como prioridad la biolixiviación de minerales y la producción de xantanas para la recuperación de petróleo; en el sector farmacéutico, la producción de vacunas es un rubro que merece especial atención; en el sector alimentario, la producción de cultivos iniciadores y algunas enzimas (papaina, amilasas, renina) son actividades productivas cuyas tecnologías son factibles de ser desarrolladas.

La experiencia existente en países de mayor desarrollo relativo que cuentan desde algunos años con Programas Nacionales puede servir de base para iniciar algunas actividades de cooperación regional y, en especial, con aquellos países menos avanzados de la región. Además, existe una serie de temas de interés común que podrían ser materia de acuerdos de cooperación entre los países de América Latina y de éstos con otras áreas en desarrollo y desarrolladas. Dentro de estos temas cabe mencionar a título ilustrativo los siguientes:

- i) Formar recursos humanos a través de cursos de especialización en determinadas disciplinas.
- ii) Reforzar el marco institucional a fin de habilitar laboratorios y plantas pilotos capaces de realizar investigaciones y desarrollos en biotecnología.
- iii) Crear mecanismos de intercambio de información científica y tecnológica (seminarios, reuniones, simposia) y de apoyo a la publicación de monografías incluyendo el establecimiento de órganos de divulgación en biotecnología de carácter interregional.
- iv) Analizar a nivel regional los aspectos legales sobre sistemas de patentes (en especial de microorganismos, semillas, cultivos, etc.) y la reglamentación sobre normas de seguridad en el manejo de los productos de ingeniería genética.



- v) Buscar apoyo para la creación de bancos de genes, de ceparios y fomentar el intercambio de ellos.
- vi) Estructurar un curriculum universitario para la formación de especialistas a nivel de pre y postgrado en biotecnología, con revalidación y reconocimiento de cursos entre universidades latinoamericanas.
- vii) Realizar estudios conjuntos en materia de interés para la región como, por ejemplo, recopilación de información estadística sobre el sector bioquímico, datos de mercado de productos, etc.
- viii) Establecer y coordinar las acciones regionales junto al Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología.

El campo de la biotecnología y de la manipulación genética es particularmente propicio para la cooperación internacional. La formulación de políticas nacionales que incluyen esta dimensión internacional, la concertación de acuerdos de tecnología incluyendo la transferencia técnica como de conocimientos prácticos, el fortalecimiento de centros regionales y en fin, todos los aspectos relacionados con la incorporación de esta tecnología deberán tener una atención preferente en las acciones regionales que se decidan emprender hacia el futuro y lograr con ello los máximos beneficios que esta avanzada tecnología ofrece.

Anexo I,

GLOSARIO EN TERMINOS DE USO EN BIOTECNOLOGIA

- Aeróbico:** microorganismo que puede multiplicarse en presencia de oxígeno
- Amilasa:** enzima que degrada almidón
- Anaeróbico:** microorganismo que puede multiplicarse en ausencia de oxígeno
- Antígeno:** molécula de gran tamaño, la cual estimula la producción de anticuerpos en el organismo
- Biogas:** gas (principalmente metano) producido por la fermentación o digestión anaeróbica de materia orgánica
- Biomasa:** material vegetal o animal
- Callo:** conjunto de células vegetativas resultantes de la propagación vegetativa
- Celulasa:** enzima capaz de degradar celulosa
- Clon:** grupo de células idénticas descendientes de un ancestro común, poseyendo todas el mismo material genético
- Cloroplasto:** órgano de una célula en donde ocurre la fotosíntesis
- Cromosoma:** componentes celulares compuestos de genes y encargados de transmitir la información genética
- Cultivar:** organismo desarrollado bajo cultivo, se emplea como sinónimo de variedad en cultivos agrícolas
- Digestión anaeróbica:** degradación biológica de material orgánico mediante microorganismos y en ausencia de oxígeno
- Diploide:** célula somática con doble número de cromosomas (dos juegos: uno paterno y uno materno)
- Enzima de restricción:** enzima presente en bacterias y que degrada selectivamente el ADN extracelular
- Fermentación:** proceso bioquímico de conversión de un sustrato en un producto utilizando microorganismos vivos

- Gene: unidad hereditaria compuesta de un segmento de ADN
- Genoma: el conjunto de cromosomas de un individuo
- Genotipo: constitución genética de un individuo o grupo
- Haploide: célula con un sólo juego de cromosomas
- Híbrido: variedad nueva de planta o animal resultante del cruzamiento de dos variedades
- Ingeniería genética: conjunto de técnicas de la biología molecular que consulta la transferencia de material genético de una célula a otra con el propósito de modificar el comportamiento de la última
- In vitro: fuera de un organismo vivo
- In vivo: dentro de un organismo vivo
- Plasmido: material genético que no es parte del cromosoma. Por su simplicidad son usados en experimentos de ingeniería genética como receptores de fragmentos de ADN extraños al organismo
- Vector: agente transmisor que transfiere fragmentos de ADN de un organismo donante a uno receptor.

Anexo II

BIBLIOGRAFIA

- Anderson E. Russel, Biological Paths to Energy Self Reliance, Van Nostrand Co., 1979.
- Danehy P.F. y B. Wolnak, Enzymes. The Interface between Technology and Economics, Marcel Dekker Inc., 1980.
- National Academy of Sciences, Microbial Processes: Promising Technologies for Developing Countries, 1979.
- National Academy of Sciences, Priorities in Biotechnology Research for International Development, 1982
- OECD, Biotechnology, International Trends and Perspective, 1982.
- ONUFI, Draft Report, Ministerial Level Plenipotenciary Meeting on the Meeting on the Establishment of the International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology, Madrid, Spain, 7 - 13 September 1983. (ID/WG.397)
- ONUFI, Elements of some National Policies for Bio-Technology (UNIDO/IS.270/Rev. 1), 8 March 1982.
- ONUFI, Genetic Engineering and Biotechnology in Developing Countries (ID/WG.384/4/Rev. 1), 11 February 1983.
- ONUFI. Report on Exchanges of Views with experts on the implications of advances in genetic engineering for developing countries, Vienna, Austria, 4 - 6 February 1981 (UNIDO/IS.259), 26 November 1981.
- Office of Technology Assessment of the United States Congress, Impacts of Applied Genetics: micro-organisms, plants and animals, Washington D.C., (OTA-HR-132) April 1981.