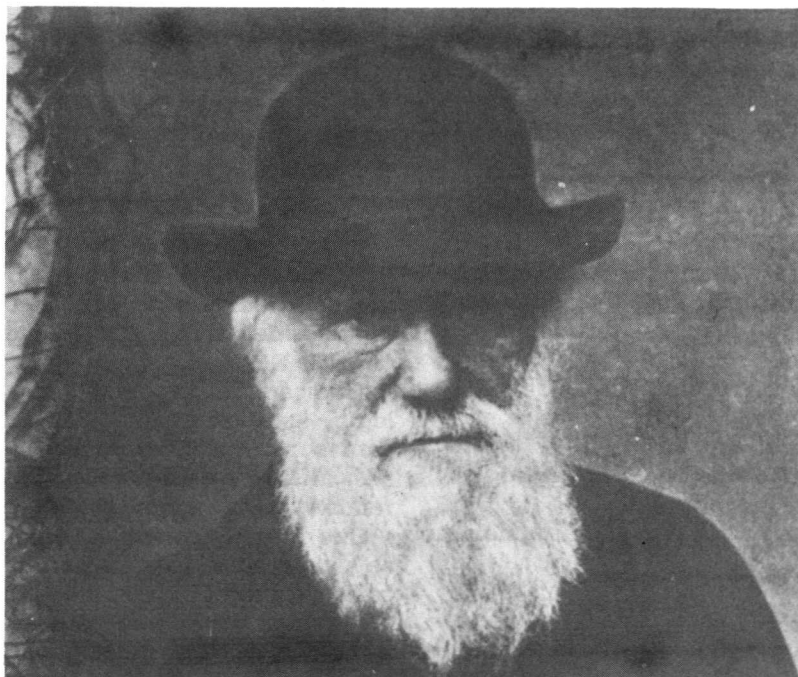


## Biotecnología para Colombia

# El futuro en presente

En el siglo pasado Charles Darwin dio con las claves a través de las cuales se producía la evolución de las especies en la naturaleza. Ahora el hombre, al poder intervenir directamente en la evolución, creará nuevas leyes que harán que, quizá en el próximo siglo, las teorías de Darwin sean recordadas únicamente como una reliquia del pasado.



DOLLY MONTOYA\*

**M**UCHO se ha escrito sobre las posibilidades de la Biotecnología. Su impacto potencial ha movido corredores de la bolsa, ha ilusionado a los políticos y ha creado expectativas en la sociedad sobre sus beneficios en el campo de la salud, la agricultura, la industria química y farmacéutica. Todo este movimiento ha sido provocado por los actores de las Biotecnologías: los microorganismos y células de origen animal o vegetal. El término Biotecnología podría entenderse ampliamente

como la comercialización de los procesos biológicos, los cuales engloban descubrimientos técnicos y científicos que han conducido al umbral de la revolución bioindustrial. *"La Biotecnología se ha definido como la aplicación de los principios básicos de las Ciencias e Ingenierías al procesamiento de materiales para proveer bienes y servicios"*. Esta definición es más amplia si se compara con las primeras, que solo se referían a la utilización de microorganismos con fines industriales. La Biotecnología posee las siguientes características: es Multidisciplinaria, emplea diferentes técnicas, conviven diferentes estados de desarrollo y es Multisectorial.

El presente artículo busca abordar estas características como metodología que permita aclarar al lector los alcances de la Biotecnología.

### **Multidisciplinaria**

Es decir que la biotecnología requiere la interacción de diversos especialistas con conocimientos adecuados para comunicarse y vincularse recíprocamente, y entender los razonamientos de la ciencia básica para ser expertos en su aplicación. Los Genetistas miran al interior del núcleo celular, estudian los genes responsables de la herencia biológica, su constituyente DNA que contiene las *"Instrucciones"* para confec-

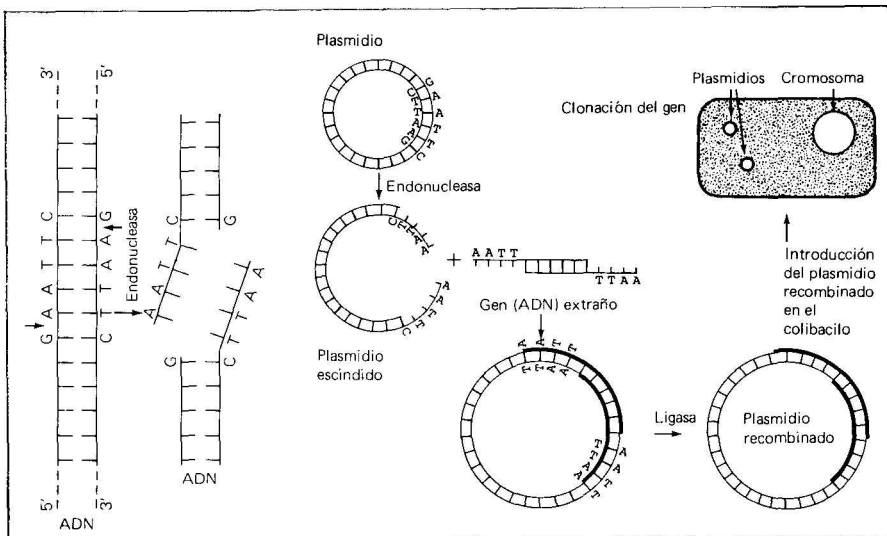
\* Profesora Departamento de Química Farmacéutica. Directora Instituto Biotecnología Universidad Nacional

cionar proteínas. Los Bioquímicos se familiarizan con los principios fundamentales de la Química de la Vida, en particular con la estructura y función de las proteínas. Los Microbiólogos y Biólogos, por su comprensión de la naturaleza química de la vida, ven los organismos como fábricas y se ocupan del crecimiento, desarrollo y reproducción de microorganismos, células animales o vegetales. Los Ingenieros Bioquímicos estudian las condiciones ambientales para el desarrollo de los organismos (oxígeno, pH, temperatura), y su escalamiento a nivel piloto e industrial. Y los Ingenieros Químicos trabajan en el diseño de Reactores y Operaciones de separación de productos, sin hablar de la comercialización y distribución.

### b) Diferentes Técnicas

Las principales técnicas empleadas son: DNA recombinante, hibridomas, fusión de protoplastos, fermentación y escalamiento de procesos, tecnología de enzimas y Cultivo de Tejidos Vegetales.

**El DNA Recombinante:** Permite transferir genes de un organismo a otro, utilizando para ello vehículos (Plásmidos, Cósmidos, Fagos, etc.) que permiten introducir un gen extraño a un microorganismo y obligar a este a producir algo que normalmente no produce; en pocas palabras, se "construye" un nuevo microorganismo con características especiales. Por este mecanismo se proporciona a la célula una información genética completamente nueva, aunque no pertenezca a la especie. Esta metodología es pródiga en aplicaciones: es posible dar a un microorganismo (levadura, bacteria) la información genética para producir proteínas costosas como interferón, hormona de crecimiento, insulina, enzimas de utilidad industrial; se considera la posibilidad de dar información nueva a células vegetales o animales (genes de fijación de Nitrógeno Atmosférico, transmitidos a una planta que se cultiva (Figura No. 1).



### MANIPULACIONES GENÉTICAS

Figura 1. Inserción de un gen en un plásmido de *Escherichia coli* y clonación de este gen en las células del colibacilo.

**Hibridomas:** La tecnología de hibridomas inventada por Kohler y Milstein, que consiste en combinar la habilidad de las células sanguíneas, linfocitos T, para producir anticuerpos, con la "Inmortalidad" de las células cancerosas (a diferencia de las células normales, las células se pueden cultivar en el laboratorio en condiciones apropiadas para dividirse y crecer de manera indefinida) se forma una célula híbrida que tiene propiedades de ambas células originarias: producen anticuerpos monoclonales. En la teoría y en la práctica, cada vez más, los Biotecnólogos pueden desarrollar anticuerpos monoclonales que sean específicos para cualquier sustancia de primordial interés médico. Esta nueva técnica es de gran impacto comercial, como que existen hoy más de 200 productos en el mercado internacional. En Estados Unidos el mercado fue estimado en 1985 en aproximadamente US\$6 Millones y para 1990 tiene una proyección de US\$300 a US\$400 Millones de dólares.

**Fusión de Protoplastos:** Se emplea con células de origen vegetal, se disuelve la pared celular y el material genético de dos células se coloca en contacto; después de la fusión, el cultivo se induce a formar de nuevo la pared

celular, y las células fusionadas pueden generar embriones o plántulas que finalmente formarán una nueva planta. Se aplica también para inducir el paso de material genético en bacterias de uso industrial, como los Actinomicetales, caso en el cual la recombinación recurre a altas frecuencias. Mediante este procedimiento se mejoran los rendimientos de productos y se desarrollan híbridos de las rutas biosintéticas para producir nuevas estructuras químicas.

**Fermentación y Escalamiento de Procesos:** Son los procesos más conocidos y consisten en colocar microorganismos, células animales o vegetales, en el medio de cultivo adecuado, con condiciones controladas para que este organismo sintetice un producto esperado.

Las fermentaciones representan el proceso biotecnológico industrial más importante. Los principales productos determinados por esta vía son: etanol, proteína unicelular, ácidos orgánicos (en particular cítrico), aminoácidos, jarabes fermentados, polisacáridos de origen microbiano y antibióticos, entre otros.

Los procesos de recuperación y purificación del producto requiere

→ ren alto desarrollo en Ingeniería Química y son muy costosos; se calcula entre US\$30 y US\$70 por litro de capacidad instalada. El escalamiento en procesos biotecnológicos es indispensable, ya que en el laboratorio las condiciones son fácilmente controlables, la calidad de las materias primas es definida y poseen alto grado de pureza. Esta situación cambia dramáticamente cuando de producción industrial se trata; por ello requiere un paso intermedio a nivel piloto. Si la etapa de investigación debe preguntarse: ¿Funcionará?, en Planta Piloto debe responderse: ¿Cómo hacerlo de la mejor manera en el menor tiempo? En general la etapa de laboratorio es más prolongada y la Planta Piloto más costosa.

**La Tecnología de Enzimas:** Esta técnica permite llevar a cabo reacciones catalizadas por enzimas, fuera de la célula, lo cual abre un amplio panorama de aplicación en las industrias de alimentos, médica y analítica. Se ha implementado el uso de enzimas inmovilizadas o retenidas en un soporte inerte que permite su reutilización (Figura No. 2).

Por medio de procesos biotecnológicos se produce la enzima y se utilizan como biocatalizadores en operaciones continuas haciendo circular el sustrato, por ejemplo glucosa, a través de una columna empacada con la enzima glucosa isomerasa (o células con actividad enzimática) retenidas en un soporte inerte. A la salida de la columna se obtiene jarabe fructosado (Figura No. 3). Los países industrializados obtenían los edulcorantes a partir de caña de azúcar, pero mediante el uso de esta nueva tecnología obtienen un buen porcentaje a partir de almidón de maíz (Polímero de la Glucosa). En 1984, el 45% de azúcar de Estados Unidos fue jarabe de fructosa; por esta razón, los productores de caña de azúcar enfrentan dificultades para la comercialización.

Otras enzimas producidas por microorganismos son: la Alfa-

amilasa y Beta-gluconasa, que se usan para degradar polímeros en el proceso de producción de cerveza; la glucosa oxidasa produce la producción de glucosa en presencia de oxígeno, se utiliza para evitar fenómenos de oxidación durante la conservación (cerveza, vino, mayonesa, etc.) y la enzima Beta-galactosidasa se usa para hidrolizar la lactosa de la leche.

**Cultivo de Tejidos Vegetales:** La aplicación de la biotecnología alcanza en este sector los recursos forestales y agroindustriales, para mejorar especies vegetales y para lograr la mayor resistencia a enfermedades y a condiciones climáticas adversas, para aumentar el rendimiento de cosechas, fertilizantes, etc.

El aumento de la productividad agrícola depende entre otros factores de los recursos de origen biológico, renovables, objeto de intensas investigaciones, por ejemplo, en la creación y propagación de nuevas variedades cultivadas con resistencia a microorganismos o patógenos, plagas y parásitos. La contribución de la Genética Vegetal es esencial, dados los adelantos de la Biología Molecular.

El Cultivo de Tejidos Vegetales permite obtener poblaciones importantes en tiempos relativamente breves y espacios limitados (Figura No. 4). A partir del meristemo de una planta pueden producirse miles de descendientes por cultivo "in vitro"; también pueden lograrse del meristemo de una planta infectada variedades libres de infección.

### **c) Conviven diferentes Estados de Desarrollo**

Esta es una característica importante de la Biotecnología. Los procesos tradicionales son factibles de mejoras y de optimización, mediante la aplicación de modernas técnicas biotecnológicas. Es así como pueden coexistir las biotecnologías de Primera, Segunda y Tercera Generación.

Se denomina Biotecnología de Primera Generación, aquella que

se origina en la fermentación de alimentos y bebidas. Son tecnologías muy conocidas, a pesar de que no se conoce completamente el efecto tóxico del etanol sobre las células que lo producen y de que las propiedades organolépticas de los vinos, cervezas y quesos no se han explicado en términos moleculares. El mercado de estos productos está muy consolidado; en 1981 fué aproximadamente de 55.000 Millones de dólares.

Los productos de las biotecnologías denominadas de Segunda Generación incluyen antibióticos, ácidos orgánicos, glicerol, aminoácidos, proteína unicelular, etc. En 1983 tuvieron un mercado de 20 Millones de dólares. En general las aplicaciones de los productos de Primera y Segunda Generación, pertenecen a las industrias química, farmacéutica y de alimentos. Productos como las vacunas del Sector Salud se incluyen también en esta categoría.

Tres hechos trascendentales determinaron el "boom" de la Biotecnología Moderna de Tercera Generación: en primer lugar, los descubrimientos de Stanley, Cohen y Helbert Boyer en 1973, quienes demostraron que mediante el uso de enzimas especiales se podía cortar y pegar el DNA y fabricar así microorganismos con información genética que antes no poseía para producir determinadas sustancias. En 1975 Kohler y Milstein demostraron por su parte la producción de anticuerpos monoclonales, fusionando linfocitos y células cancerosas. Finalmente, el incremento en los precios del petróleo, (1973 y 1974) provocó una reacción de los países industrializados orientada a financiar desarrollos de fuentes alternas de energía, incluyendo lignocelulosa y, con esto, el apoyo a la moderna Biotecnología. Fue así como se crearon 200 Compañías con capital de riesgo en Estados Unidos para producción de productos farmacéuticos, agrícolas y alimentos. En la gráfica No. 1 se exponen los ciclos de vida de la Tecnología o productos Biotecno-

lógicos. Se considera que los productos de Primera y Segunda generación están en una madurez tecnológica, aunque algunas de las nuevas técnicas pueden contribuir a mejorar los rendimientos en procesos tradicionales. Las tecnologías de tercera generación se hallan aún en su etapa de desarrollo.

Para entender mejor cómo ha evolucionado el mercado de los productos Biotecnológicos producidos por fermentación Atkinson emplea un modelo con base en la teoría de la oferta y la demanda de los mismos y los clasifica en tres grupos: los productos que están en el primer grupo compiten con la Petroquímica y la Agricultura; es donde más dinero se ha perdido en Biotecnología; debido al alza de los precios del petróleo, estos procesos han sido subsidiados.

Al segundo Grupo pertenecen los productos que sobreviven gracias a su uso en alimentos como productos de origen natural o cuya producción por vía química resulta más costosa. Los del Tercer Grupo pueden obtenerse únicamente por la vía bioquímica y gozan de excelente mercado; este grupo presenta a mediano plazo una buena área de expansión de la biotecnología (Gráfica No. 2).

La relación entre precios y usos puede definirse en términos de mercado. Aunque esta teoría no debe tomarse esquemáticamente, si arroja buenos resultados para observar el comportamiento de los productos.

La demanda de productos biotecnológicos puede ser:

- Elástica; ante una pequeña variación en los precios, responde de manera flexible, o sea mayor que 1.
- De elasticidad Unitaria; como su nombre lo indica, ante una variación en precios, la demanda se incrementa en la misma proporción, o sea, igual a 1.
- Inelástica, es aquella en la cual ante una variación de precios, la variación en la deman-

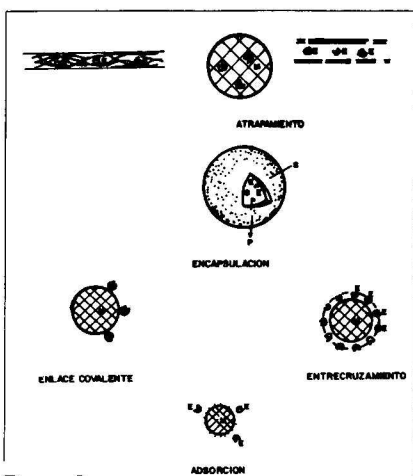


Figura 2.

da es muy poca, o sea menor que 1.

Puede ocurrir que un mismo producto, según el consumo final, tenga simultáneamente una demanda elástica e inelástica; por ejemplo: en el alcohol (etanol), la primera fase es inelástica y la segunda elástica, como se muestra en la Gráfica No. 3.

Desde el punto de vista de la oferta, estos grupos de productos se comportan de la siguiente manera:

- Las curvas de oferta tienen un gradiente, positivo, si a más alto precio se da un más alto nivel de producción; existe sin embargo un punto de equilibrio en el cual los intereses de productores y consumidores coinciden.
- En el mercado de la Biotecnología podría hablarse de un mercado de oferta y demanda

para productos conocidos. En el caso de nuevos productos y nuevas tecnologías, la formación de los precios es aún impredecible (Gráfica No. 4).

#### d) Multisectorial

Es decir que la biotecnología afecta diferentes sectores de la producción, tales como la industria farmacéutica, la agricultura, las industrias química y de alimentos.

**La Industria Farmacéutica:** Los mayores avances en Biotecnología se presentan en el campo de la salud, revolucionando la industria farmacéutica con la producción de Insulina humana, hormona de crecimiento, interferones, albúminas humanas, factores anticoagulantes. Se espera obtener proteínas reguladoras o péptidos para tratamiento o pre-

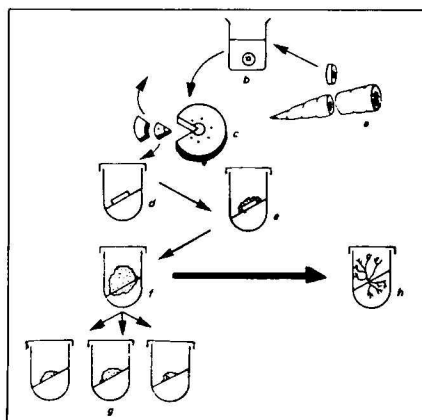


Figura 4. Obtención de callo a partir de cultivo in vitro de raíz de zanahoria (4).

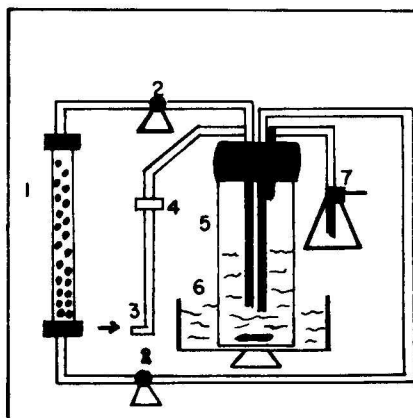
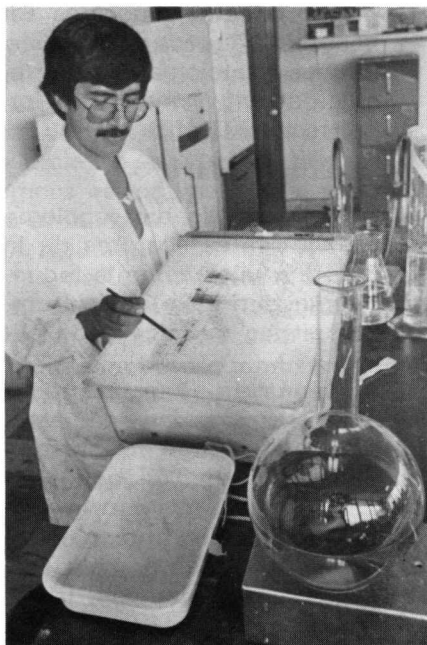


Figura 3. Reactor para células inmovilizadas en carragenina.





Análisis de patrones electroforéticos de proteínas por Jorge Díaz, asistente de investigación.

→

vención del cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias, etc. En el Campo de las Vacunas se han logrado avances en hepatitis B e influenza y se desarrollan vacunas contra malaria, cólera y leishmaniasis. Hay también en el mercado cerca de 200 reactivos de diagnóstico basados en técnicas de anticuerpos monoclonales.

## La Nueva Revolución Verde

Se ha identificado a la agricultura como una de las áreas de mayor impacto potencial de la biotecnología. Los efectos de la biotecnología moderna en este sector introducirán modificaciones importantes como: resistencia a pesticidas, híbridos vigorosos, tolerancia al calor, tolerancias al frío, mejoramiento de la calidad nutricional, mejoramiento de rendimientos, producción de principios activos, fijación biológica de nitrógeno, control a enfermedades, control a insectos, pesticidas microbianos.

En la agricultura se prevee una revolución radical en cuanto a la

capacidad para producir nuevos híbridos en soya y trigo; en Cultivo de Tejidos para regeneración de plantas libres de patógenos, la creación de cultivos que produzcan sus propios fertilizantes y plantas que prosperen en suelos altamente improductivos. En general aplicando técnicas de cultivo de tejidos, podría mejorarse la calidad de frutas, flores, tomates, cubios, etc.

Muchos investigadores trabajan en el desarrollo y aplicación de *inoculantes* a partir de unas bacterias *rizobium* para fijación de nitrógeno atmosférico de modo que la planta pueda utilizarlo. Estas bacterias se retienen a nivel industrial (fermentación) y se incorporan a la semilla, para sustituir el uso de fertilizantes nitrogenados de origen químico.

Las "*micorrizas*" tienen la capacidad para aumentar la absorción de fósforo del suelo, y resultan más útiles en zonas tropicales donde los suelos son normalmente ácidos. Es posible que los *inoculantes* se elaboren con mezclas de estos dos microorganismos.

Los biopesticidas para control de enfermedades, pestes y maleza, se obtienen de microorganismos que son letales para las plagas e inofensivos para el hombre. Tienen alta especificidad y pueden utilizarse en diferentes períodos, inclusive en post-cosecha, pues no son tóxicos. El consumo de pesticidas de origen químico aumentó en América Latina un 8.4% anual en la década anterior, lo que permite augurar la obtención de estos productos de gran interés para la región.

## Industria Química y de Alimentos:

Los productos Biotecnológicos de la industria química y de alimentos son en su mayoría de primera y segunda generación y con Tecnología moderna se incluyen solventes, glicerol, aminoácidos (glutamatos, licina, antibióticos etc.) vitaminas (vitamina C, E, B12 etc.), Enzimas, proteínas de fuentes no convencionales a partir de residuos industriales, con-

servación de alimentos (ensilaje), enriquecimiento proteico de materiales como almidones, alimentos fermentados, etc.

## Condiciones del Desarrollo Biotecnológico:

El desarrollo de la Biotecnología no se ha dado como una propuesta a necesidades del mercado, sino como un proceso de acumulación continua de conocimientos de ciencias básicas (*biología molecular, genética, bioquímica, microbiología* etc.) y por la modernización e innovación de las ingenierías orientadas a establecer cambios cualitativos en la tecnología. Esta consideración fundamental tiene que ver con las condiciones de desarrollo de estas tecnologías. En primer lugar, los países que lideran el mercado Biotecnológico, Estados Unidos y Japón, se han destacado por su tradición e investigación básica. Japón estudia desde 1868 las fermentaciones aplicadas a bebidas y alimentos fermentados, por su antiquísima tradición en el consumo de productos obtenidos a través de estos procesos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la Universidad de Tokio creó el Instituto de Microbiología Aplicada; según SASSON, en 1980 el Japón poseía la totalidad de las licencias de fabricación de los 20 aminoácidos alrededor de los cuales se investigaba desde 1908. En 1979, de los 11 nuevos antibióticos comercializados en el mundo, 7 se habían sintetizado en laboratorios japoneses. La Industria Farmacéutica de este país ocupó en 1980 el segundo lugar después de la Norteamericana.

Estados Unidos exhibe tradición de grandes desarrollos en ciencias básicas, en 19 Universidades, con tres polos regionales: Harvard, Stanford y la región de los grandes lagos (Universidad de Wisconsin).

Sus avances, se presentan en la moderna Biotecnología, inicialmente en recombinaciones Genéticas. Entre 1975 y 1985 el gobierno invirtió 266' millones de dólares en casi 25 sociedades de

ingeniería genética encargadas de evaluar los resultados de las investigaciones universitarias y patentarlos. Según la OTA (Office Of Technology Assissmnet), el número de 1979; y en 1982 se contaba con 155 compañías.

Europa Occidental tenía en 1981 aproximadamente 200 equipos y más de un millar de proyectos de investigación sobre recombinaciones genéticas. Cerca de 70 compañías miraban con interés la Biotecnología, 20 de ellas trabajaban en recombinaciones genéticas, en empleo de enzimas inmovilizadas y cultivos de células. Sin embargo, la participación en el mercado internacional de este bloque de países ocupa el segundo lugar después de Estados Unidos. Es probable que falte apoyo de los gobiernos en la promoción e implementación industrial de nuevos productos, mediante capital de riesgo. En la figura No. 5 se observan las patentes Biotecnológicas concedidas en 1984 y su comparación entre los países solicitantes.

Un segundo aspecto importante es el impulso de los gobiernos a la investigación y al desarrollo. En 1975 el Ministerio de Industria y Comercio Exterior del Japón decidió conceder alta prioridad a la microbiología y asignó entre 1975 y 1980, 6'millones de yenes para casi 200 proyectos de investigación. Además del MITI, intervenían en el fomento de las biotecnologías el Organismo para la Ciencia y la Tecnología (Enzimología, Genética y ADN recombinante) con 1500 millones de yenes al año; el Consejo de la Ciencia; el Ministerio de Sanidad y Bienestar y el Instituto Nacional de Genética.

En Estados Unidos a partir de 1978, el Gobierno Federal definió un programa de apoyo a las investigaciones en Biotecnología y a la evaluación de sus resultados para patentarlos.

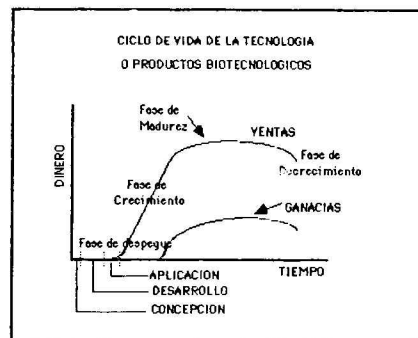
En Europa Occidental se definieron políticas en el mismo sentido:

- República Federal Alemana: entre 1981 y 1984 se invirtie-

ron diez veces más que en Francia.

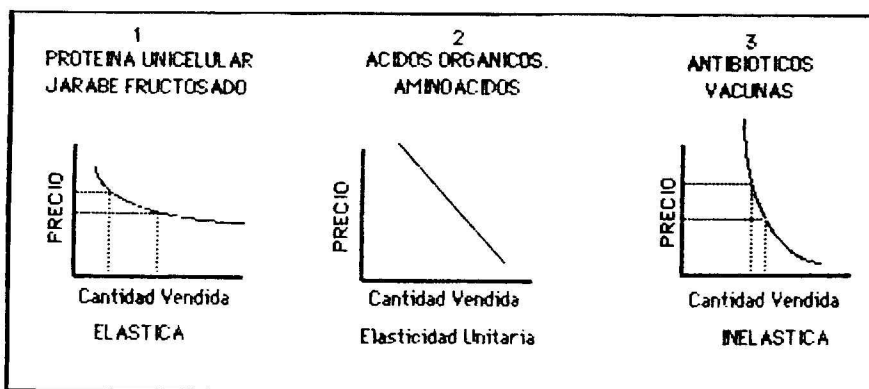
- Reino Unido: 1982 se creó el Comité Interministerial de Biotecnología.
- Francia 1982, el Ministerio de Investigación e Industria presentó un programa de expansión para ocupar el 10% del volumen de negocios a nivel mundial en 1990.
- Países Bajos: 1981, creación del Comité Gubernamental para coordinar la Investigación en Biotecnología. (Go-

**GRAFICA 1**  
**CICLO DE VIDA DE LA TECNOLOGIA O PRODUCTOS BIOTECNOLOGICOS**



FUENTE (1)

**GRAFICA 2**  
**EL MERCADO Y LA ORGANIZACION INDUSTRIAL DE LA BIOTECNOLOGIA**

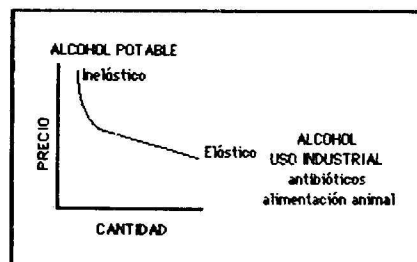


FUENTE: Atkinson (10).

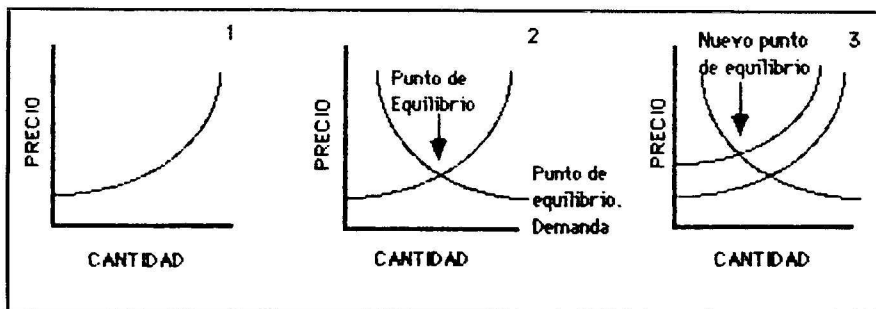
bierno, Industria, Universidad).

Cabe destacar en este punto que la participación de la Industria de los países avanzados en el desarrollo Biotecnológico se ha incrementado paulatinamente. Puede corroborarse esta apreciación examinando los montos de inversión por este concepto a ni-

**GRAFICA 3**  
**CURVA DE DEMANDA DE ETANOL**



**GRAFICA 4**  
**CURVA DE OFERTA DE PRODUCTOS BIOTECNOLOGICOS**



FUENTE: Atkinson (10).

→ vel mundial . De un billón de dólares en 1980, 20% fue de Industrias y 80% de Universidades e Institutos de Gobierno. En 1983 el total fue de 2.5 billones; la inversión se realizó por partes iguales, pero para 1986 las predicciones eran de 6 billones, 67% de los cuales provenían de la industria.

En el caso de América Latina, países como Brasil, México, Argentina y Cuba, han definido la Biotecnología como área prioritaria de investigación y desarrollo. Para ello han establecido planes nacionales, con objetivos precisos, (por ejemplo Brasil se definió por alcohol carburante y fertilizantes; Cuba optó por Ingeniería Genética) y con asignación de recursos. Está claro que las prioridades se definen mediante apoyo efectivo en recursos; para no quedarse en declaraciones de buenas intenciones.

Mas, no sólo cuentan el avance de la ciencia y el impulso a la investigación y al desarrollo. La formación de recursos humanos altamente calificados resulta también decisiva. La investigación Científica e Industrial y sus condicionamientos básicos obliga a concentrar esfuerzos enormes en la formación de especialistas, por medio de la capacitación de profesionales en disciplinas de las ciencias biológicas, en química, física e ingeniería (Bioquímica, Química). En el informe del BID sobre Ciencia y Tecnología se dan algunos datos sobre la necesidad de investigadores, Científicos y Técnicos para trabajar en Biotecnología. Un estudio reciente indicaba que en Estados Unidos el 63% del personal que trabajaba en empleos de biotecnología era de Científicos y Técnicos asociados a tareas de investigación y desarrollo y así se proyectaba el crecimiento entre 1976 y 1982; el empleo total de profesionales y técnicos en biotecnología, debería crecer varias veces en este país en los próximos años. El Reino Unido estimó que se requerirían 1.000 Científicos y Técnicos, y 4.000 Técnicos de apoyo adicional

les en los próximos 10 años . Estas cifras demuestran que los recursos humanos son deficientes en los países desarrollados, razón por la cual han recurrido a reclutar extranjeros, aún de los países del Tercer Mundo. En los países en desarrollo la situación es más compleja por que el personal capacitado es muy reducido y no existen incentivos para los investigadores; muchos de ellos han emigrado en busca de nuevas oportunidades.

## **La Biotecnología en América Latina**

La Tecnología es, sin duda, la clave del progreso de las sociedades humanas. Esta relación de interdependencia resulta paradójica, ya que la "Revolución Científica y Tecnológica" sólo se ha dado en ciertas condiciones políticas, económicas y socioculturales. Por otra parte el progreso tecnológico actúa como agente promotor de la transformación estructural de la sociedad.

Siendo tan importante la tecnología para el progreso de un país, esta se encuentra en poder de las Naciones "Industrializadas" y los países de economías dependientes, como sucede con América Latina, se ven obligados a importarla de las Empresas Transnacionales, en condiciones onerosas, con un alto costo social por su dependencia tecnológica. Todo intento radical dirigido a disminuir los costos de la dependencia, implica que los países menos desarrollados rompan el cerco tecnológico y organicen mejor sus propios sistemas de producción y distribución. Al igual que en casi todos los campos, a América Latina la biotecnología nos llega a través de publicaciones y de recursos humanos formados en países industrializados; de allí que nuestra participación sea deficiente y con menores posibilidades para competir en el mercado internacional.

La industria en estos países no tiene tradición de investigación. Por lo tanto, dispone de escaso personal capacitado para crear y adaptar conocimientos y no tiene

relación con los centros de investigación de las Universidades Latinoamericanas.

La poca industria se concentra, en consecuencia, en vinos y cervezas, que utilizan Biotecnología tradicional, cuyo desarrollo tecnológico no ofrece diferencias significativas con el alcanzado en otros países.

En cuanto a la producción de antibióticos, enzimas, aminoácidos y agroquímicas, la tecnología utilizada proviene de países industrializados, salvo excepciones en el caso de México, Brasil y Argentina.

La nueva Biotecnología se realiza básicamente en centros de investigación; existe también heterogeneidad en la cantidad y calidad de recursos humanos y materiales disponibles en América Latina. En algunos países hay centros de investigación con personal entrenado en algunas técnicas más sofisticadas y con infraestructura y equipamiento moderno. En los países de menor desarrollo científico y tecnológico, el personal de alto nivel es muy reducido, y se encuentra aislado en facultades de diferentes Universidades .

México, Brasil, Argentina y Cuba son los países de América Latina con mayor desarrollo biotecnológico. Los dos últimos son líderes en tecnología endógena. Brasil ha logrado mayor independencia en el campo energético y en fertilizantes a través de la biotecnología y la producción de alcohol le permitió modificar su consumo interno de gasolina importada gracias al etanol obtenido por fermentación.

En relación con la actividad agrícola programas hay de fijación de nitrógeno en diversos centros Universitarios Brasileños, Mexicanos y Venezolanos. En el CIAT de Palmira se está utilizando inoculación de suelos ácidos con micorrizas. Brasil y México tienen amplia experiencia en semillas mejoradas. En el área agroalimentaria, se destaca el importante desarrollo logrado en Cuba en la producción de proteí-

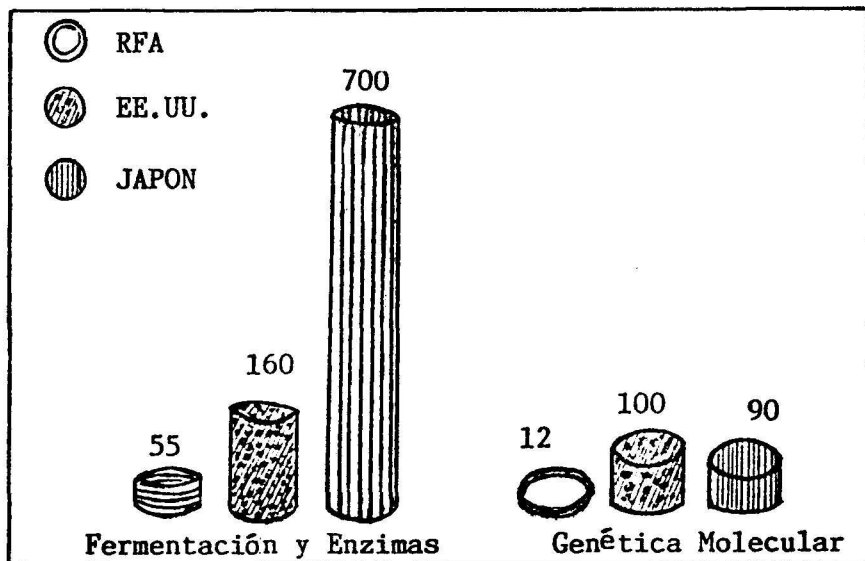


Figura 5 Patentes biotecnológicas concedidas en 1984: Comparación entre los países solicitantes.

na unicelular utilizando melazas de la industria azucarera. En este momento se producen 110.000 toneladas anuales en 11 plantas.

Podría decirse, en suma, que el impulso de la Biotecnología en América Latina tiene que superar los problemas comunes en nuestros países, entre otros :

- Dificultad para definir proyectos.
- Número insuficiente de investigadores y Personal Calificado.
- Infraestructura inexistente o incompleta para realizar proyectos en Biotecnología.
- Carencia de experiencia en el desarrollo tecnológico.
- Presupuestos exigüos y muy diversificados en lo referente a ciencia y tecnología.
- Falta de Industria Nacional que apoye nuevas tecnologías.

Por ello resulta imprescindible para los países en desarrollo, planificar una infraestructura científica que permita estudiar cambios y avances científicos rápidos y evitar la importación indiscriminada de tecnología. Podemos estar seguros de que nuestro desarrollo biotecnológico implica una enorme acción combinada de los investigadores a nivel nacional y latinoamericano; pero ello supone conformar grupos interdiscipli-

narios para optimizar recursos humanos y realizar desarrollo tecnológico, estimular la cooperación internacional en función de las necesidades locales y detectar campos específicos en los cuales la Biotecnología tendría buen éxito.

Según expertos, para los países del Tercer Mundo la biotecnología presenta buenas oportunidades especialmente a través de:

- La aplicación del DNA recombinante, para la producción de vacunas contra enfermedades infecciosas propias de nuestros países.
- En reactivos de diagnóstico mediante sondas moleculares y anticuerpos monoclonales.
- En el desarrollo de variedades de plantas resistentes a condiciones extremas y a plagas, por medio de cultivo de células vegetales.
- En la utilización de desechos lignocelulósicos para producción de energía o alimento animal o humano.
- En fermentaciones en medio líquido y sólido para la producción de materias primas, mediante procesos que pasen del laboratorio a la industria con relativa facilidad y que contribuyan a solucionar problemas de importaciones.

## Estado actual de la Biotecnología en Colombia

Existe en Colombia un gran potencial de aprovechamiento de recursos naturales mediante procesos Biotecnológicos. El país puede contribuir a resolver problemas de Salud, a desarrollar la producción de materias primas para la industria, a producir alimentos cada vez más escasos y aportar soluciones a la contaminación que la producción agrícola e industrial genera.

El desarrollo de la investigación en Biotecnología en nuestro país ofrece un panorama heterogéneo. En él confluyen el progreso y la especialización de cada una de las áreas que la sustenta (Microbiología aplicada, Virología, Genética, Biología molecular, Bioquímica, Ingeniería química, etc.); los criterios para la asignación de recursos y las condiciones que enmarcan el curso de la vida económica, política y social del país. Dentro de este panorama, la labor investigativa recibe un mayor reconocimiento explícito, si bien no siempre hay coherencia entre éste y los recursos disponibles.

En general la investigación en Ciencia Básica es financiada, aunque no de la mejor manera, por fondos públicos; no es el caso de la tecnología, ya que gran parte de su selección y adecuación se presenta en empresas privadas. Existe divorcio entre la ciencia y la tecnología; al decir de Bunge *"La tecnología viva es esencialmente el enfoque científico de los problemas prácticos, es decir, el tratamiento de estos problemas sobre un fondo científico y con ayuda del método científico... Por esto la tecnología, sea de los hombres o de las cosas, es fuente de conocimientos nuevos. La tecnología moderna y la ciencia moderna depende a su vez del equipo y el estímulo que provee la industria altamente tecnificada"*.

La dicotomía existente entre la ciencia y la tecnología ha llevado a nuestros países a establecer diferenciación entre la planificación y la concepción de los proble-

→



→

mas tecnológicos. En su defecto, la labor investigativa se acomete de manera individual, con proyectos de alcance restringido, con una amplia dispersión en desmedro de la sistematización y profundización de los conocimientos abarcados; y se importa de manera indiscriminada tecnología que puede crear más problemas de los que se resuelve.

No obstante, es evidente que a pesar de las limitaciones establecidas, la independencia tecnológica no puede alcanzarse en ausencia de un desarrollo continuo y sistemático de la investigación, sin vinculación permanente al contexto nacional e internacional a través de la indagación y cuestionamiento del mismo, mediante una política de ciencia y tecnología que debe incorporarse a un plan general socio-económico a largo plazo o a una estrategia nacional de desarrollo. Debe establecerse un vínculo entre la producción de conocimientos técnicos y los sistemas económicos, políticos y productivos. Debe por lo tanto mejorarse la calidad de la investigación y ampliarse el sistema científico y tecnológico.

## **Desarrollos de la Biotecnología en Colombia**

El grupo de Biotecnología de la Universidad Nacional realizó a finales de 1984, un proyecto de Diagnóstico de la Biotecnología en Colombia, bajo el auspicio de Colciencias y la Universidad Nacional<sup>9</sup>.

Las encuestas se dirigieron a industrias, universidades y centros de investigación y se realizó una división geográfica del país en ocho zonas y en cada una de ellas se ubicaron los puntos a encuestar. Se realizaron 164 encuestas acopiadas en 54 industrias, 11 Centros de Investigación y 23 Universidades. A continuación se exponen las conclusiones de este proyecto.

**De la Investigación.** Uno de los objetivos propuestos fue la identificación de proyectos que se desarrollan a nivel de investigación;

con la información obtenida se allana el camino para el fomento de los existentes y plantear investigaciones nuevas, de acuerdo con las necesidades del país.

Se identificaron en el año 1984 grupos que trabajan en investigación en Biotecnología en las siguientes áreas:

- En Ingeniería Genética:  
Facultad de Ciencias - Univ. del Valle-Cali  
Instituto de Inmunología - Univ. Nacional  
Instituto Nacional de Salud.
- Cultivo de Tejidos:  
Universidad Nacional.
- Desarrollo de Productos Biológicos:  
VECOL, I.N.S.
- Instituto de Biotecnología:  
Universidad Nacional de Colombia.

**Líneas de Investigación:**

- Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales.
- Biotecnología Industrial.
- Cultivo de Tejidos Vegetales.
  - La investigación en Cultivo de Tejidos se ha proyectado hacia la solución de problemas alimentarios y en menor proporción se orienta a la floricultura, importante industria de exportación.

- En cuanto al control biológico y fijación de nitrógeno, a pesar de que revisten especial importancia y se han desarrollado con mucho empeño en el mundo, en Colombia son escasas las investigaciones en estas áreas.

- Control de Contaminación. Se ha desarrollado en subproductos del beneficio del café, -ya sea para adecuación en nutrición animal o en obtención de biogás- y en tratamiento de aguas residuales y basuras. El desarrollo en esta área en la mayoría de los casos se ha implementado en la parte de Ingeniería, sin mostrar un avanzado desarrollo Microbiológico que permita optimizar dichos sistemas.

- El desarrollo de investigaciones en Biotransformaciones con aplicaciones en la industria química, se ha dirigido a las áreas farmacéuticas (productos biológicos), alimentos, alcohol, ácido cí-

trico y lixiviación bacteriana. El número de trabajos emprendidos en este ámbito es bastante reducido en relación con su magnitud e importancia.

- En la mayoría de las zonas encuestadas se detecta interés en la bio-síntesis de productos químicos, pero en el momento no hay proyecto de gran alcance en marcha.

- La mayoría de los investigadores se han orientado hacia la producción de alcohol, con diferentes propósitos que van desde la solución de problemas energéticos, usando como combustible dicho producto, hasta la producción de bebidas. La principal diversidad está en la fuente de materias primas.

- Hay construidos alrededor de 150 Biodigestores en el país; aproximadamente el 50% están fuera de servicio -después de una alta inversión-, debido al empleo de una tecnología inadecuada. Por lo tanto, es necesario desarrollar y probar esta tecnología, y estudiar la viabilidad económica de los proyectos, antes de plantearlos como solución a algún problema.

Estos procesos se están investigando en todas las zonas encuestadas, se pone a la orden del día la coordinación y estudio organizado de esta área.

- La producción de alcohol combustible es otra alternativa energética que se está investigando, simultáneamente con la "fermentación metánica", utilizando desechos y residuos disponibles a nivel local, para solucionar problemas energéticos en regiones apartadas.

**De la Investigación Básica.** No existe en el momento integración de los trabajos realizados en investigación básica, con los que se realizan en investigación aplicada. Una de las causas está en la ausencia de tradición en investigación interdisciplinaria en los diferentes campos que nutren la Biotecnología. Otra causa está en el reciente desarrollo del área de nuestro interés, que resulta hasta el momento como una concepción

novedosa para la mayoría de los encuestados.

Las investigaciones básicas que se adelantan o se han adelantado, a pesar de no tener un enfoque netamente biotecnológico, son soporte fundamental para desarrollar esta área. Esto se ve reforzado por el hecho de que en todas las regiones visitadas se encontraron trabajos.

De las Industrias que utilizan biotecnología se ubican en cuatro sectores:

- Producción de productos biológicos (vacunas, sueros, etc.)
- Industria Alimenticia (quesos y leches ácidas)
- Producción de bebidas alcohólicas (cervezas, etanol) en Industrias Licoreras.
- Producción de materias primas.

La producción de bebidas alcohólicas, alimenticia y Acido Cítrico, se caracteriza por cubrir el mercado nacional y presentar altos márgenes de rentabilidad.

Con respecto a los avances alcanzados después de este diagnóstico, podría decirse que se han consolidado los grupos mencionados. El mayor crecimiento cuantitativo se da en Cultivo de Tejidos Vegetales; si bien han ingresado nuevos investigadores, no puede hablarse de grupos consolidados. En Biología Molecular se ha avanzado en el Instituto de Inmunología, en el Instituto Nacional de Salud y se prevee que para finales de este año el Instituto de Biotecnología haya iniciado sus investigaciones en esta área. Se presenta, además, un trabajo más organizado en Anticuerpos Monoclonales en el Instituto de Cancerología.

### Conclusiones

Con el panorama presentado en este artículo sobre las posibilidades actuales de la Biotecnología, su potencial y sobre todo los múltiples problemas que podría resolver, debe ser lógico preguntarse ¿Cómo debería aprovechar un país como Colombia la Biotecnología?. La respuesta no es fácil si se tiene presente que la revolu-

ción biotecnológica es irreversible y va seguida de impactos sociales y económicos profundos. Debe convivir con los avances de los países desarrollados y sus efectos sobre los países de la región. Dos aspectos fundamentales por lo menos deben tenerse presentes: el hecho de que la producción industrial está concentrada en las transnacionales y esta va acompañada de protección de los resultados de investigación y secretos industriales mediante patentes y la política de independencia de materias primas del tercer mundo, provenientes de agricultura: como caña de azúcar, esencias, saborizantes, etc., cuya producción se incrementa cada vez más por bioprocesos; algunos por cultivo de células vegetales (esencia de jazmín) y otros por transformaciones enzimáticas como la obtención de jarabes fucosados, en lugar de la sacarosa obtenida de la caña de azúcar.

Sin embargo, si se logra realizar una selección inteligente de las aplicaciones en las áreas donde tenemos ventajas comparativas y se diseñan estrategias apropiadas, es indudable que la biotecnología reportaría un cambio cualitativo y cuantitativo en los sectores beneficiarios de tales desarrollos. Un área de especial interés para nuestro país debe ser la Biotecnología Agrícola, que permite obtener semillas mejoradas, plantas libres de patógenos, mayor productividad y el potencial de la manipulación genética para obtener variedades resistentes a patógenos, a climas y suelos adversos. Otra posibilidad en esta línea radica en la producción de metabolitos secundarios (hormonas, alcaloides) por fermentación de células vegetales; también es probable obtener inoculantes y bioinsecticidas.

Otro campo de aplicación a ser evaluado son los reactivos de diagnóstico, ya sea empleando sondas de DNA o anticuerpos monoclonales y la producción de sueros y de vacunas. Algunos procesos merecen especial interés:

producción de biogás a partir de desechos y el aprovechamiento de residuos agroindustriales para nutrición animal.

No es posible perder de vista que un desarrollo biotecnológico debe terminar en un producto. Ello implica que los estudios de los investigadores deben llevarse a nivel Piloto (escala intermedia) y luego a la Industria. En Colombia podría afirmarse sin mucho temor a equivocarnos, que casi todo lo que se hace en Biotecnología (excepto procesos tradicionales) está aún a nivel de laboratorio. Por esta razón es necesario que las estrategias de desarrollo de esta tecnología, obedezcan a planes coordinados entre el Estado, la industria y los investigadores. Esta planeación implicaría definir prioridades en cada área y disponer los recursos financieros para la implementación de los objetivos propuestos.

La cooperación entre el sector público y el privado, podría ser considerada para aplicar los resultados de la biotecnología. Un ejemplo lo ha dado Brasil con la creación de "La Asociación de Empresas de Biotecnología" en 1986, con asistencia gubernamental.

La cooperación Internacional y la mayor integración Latinoamericana podría potenciar los desarrollos en estos países, para resolver problemas comunes de la región y/o la subregión.

La cooperación con países industrializados permite la formación de científicos e Ingenieros altamente calificados, mediante programas de entrenamiento; lo que permite el mejoramiento tecnológico. La cofinanciación de proyectos públicos o privados con industrias, podría contribuir a aumentar el intercambio económico y la capacidad nacional para escalar procesos. La decisión debe ser entonces aprovechar los beneficios de la biotecnología, con la seguridad de que si no se participa de manera activa en este campo, en corto tiempo estaremos convertidos en consumidores pasivos de la misma.