

ESTUDIO PROSPECTIVO DE LA BIOTECNOLOGIA EN CUBA

Lic. Yiliam Gómez Sardiñas y M.Sc. Blanca E. Martín
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
Dirección de Política Científica y Tecnológica

RESUMEN

Se muestra un enfoque que permite trazar la trayectoria a seguir por la biotecnología cubana a mediano plazo. Teniendo en cuenta aspectos como el impacto, el avance y los resultados obtenidos, la correspondencia con las tendencias internacionales y la aplicación de la innovación tecnológica en cada una de las líneas planteadas, fue consultado un grupo de expertos en el tema, a quienes se les aplicó individualmente un ejercicio de prospectiva de esta disciplina.

I. INTRODUCCION

La creciente brecha científico-tecnológica que existe hoy entre las naciones ricas y pobres, en un mundo que se globaliza aceleradamente, evidencia la necesidad de realizar estudios de prospectiva que, mediante una visión holística permitan reconocer para dónde va el mundo y determinar hacia dónde queremos y hacia dónde podemos ir nosotros. Es decir: qué margen de maniobra tiene la empresa, el país o la región y cómo podemos construir el futuro que queremos (4).

Al facilitar la identificación de las potencialidades, limitaciones, riesgos y desafíos en cualquier organización, la prospectiva no sólo contribuye sino que es un ingrediente esencial en los procesos de planificación estratégica y toma de decisiones. A su vez, la planeación estratégica, como base para la medición de resultados, permite identificar cuáles son las actividades centrales de un área o disciplina determinada y definir dónde vale la pena hacer esfuerzos de transformación y cambios que eventualmente puedan medirse o apreciarse cualitativamente. (7)

En cuanto a la planificación estratégica en materia de ciencia e innovación tecnológica, basándonos en el caso cubano, es muy importante establecer las prioridades pertinentes a la política científico-tecnológica y económica del país, cuya determinación constituye un asunto realmente complejo en cualquier país por la cantidad de variables relacionadas entre sí, a lo que se le adiciona el hecho de que "prioridad" no significa necesariamente "exclusividad de lo prioritario", y esto permite considerar diferentes grados posibles de

prioridad. Entre numerosas alternativas, se encuentran las prioridades por áreas temáticas donde encontramos, entre otros, el desarrollo de aplicaciones de tecnologías genéricas, como en informática y biotecnología, que puedan utilizarse provechosamente en procesos productivos locales sin requerir ingentes volúmenes de inversión de capital.

Las prioridades que se establecen a mediano plazo (entre 5 y 10 años), y que en nuestro país quedaron definidas en la Resolución Económica del V Congreso del PCC (11), requieren que se concentre la capacidad científica y tecnológica en determinados campos estratégicos del desarrollo nacional, en los cuales debe considerarse la competencia científica técnica necesaria para agregarle valor económico a los principales recursos y productos que hay en el país, identificar y explotar nuevos nichos especializados en donde se pueda competir internacionalmente y satisfacer mejor las necesidades básicas de la población.

Basándonos en los aspectos abordados anteriormente fue realizada una reflexión prospectiva de una de las disciplinas prioritarias para Cuba: la Biotecnología. En este estudio nos propusimos analizar la proyección de las múltiples alternativas o variantes de la Biotecnología en Cuba que, con determinadas probabilidades, pueden existir en el futuro, y además, crear las condiciones para poder actuar en función de ello, encontrando una trayectoria posible.

La realización de un ejercicio de prospectiva como soporte de la planificación estratégica en esta disciplina puede contribuir a que se logre un desarrollo sostenible de las biotecnologías en Cuba, a través de su influencia creciente en casi todas las áreas del conocimiento y de la producción de bienes, desde el esclarecimiento de mecanismos moleculares de funciones muy específicas, hasta la creación de nuevas variedades de plantas y el desarrollo de nuevos procesos industriales. La definición de cómo debemos actuar y en qué debemos concentrar nuestros esfuerzos para mejorar la competitividad en este campo es vital en estos momentos en que el país busca convertir la biotecnología en uno de los principales rubros de captación de divisas, ajustándonos más a nuestras necesidades y a las exigencias internacionales.

II. LA BIOTECNOLOGIA EN CUBA.

La Biotecnología, descrita por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (10) como la aplicación de procedimientos científicos y técnicos a la transformación de ciertas materias por agentes biológicos para producir bienes y servicios, se basa en diversas disciplinas científicas, en particular la biología molecular y celular, la bioquímica, la genética, la microbiología, la inmunología, la química, la ingeniería industrial y la informática.

A partir de la década de los 80 el gobierno cubano decidió acelerar el avance en el campo de la biotecnología, para garantizar así la incorporación de Cuba a la tendencia mundial de fomentar una industria de productos de alto valor agregado. Entonces se creó el Frente Biológico, germen de lo que después fue el primer polo científico productivo del país: el polo del oeste de la capital, creado con el objetivo de potenciar el avance de la biotecnología y la Industria Médico Farmacéutica en un principio, y luego ampliado a la esfera agropecuaria. Ello refleja que en nuestro país la industria médico farmacéutica ha jugado un papel preponderante en la biotecnología, ya que los esfuerzos primarios en este campo han estado orientados hacia la salud humana, y funcionaba hasta hace algunos años principalmente para satisfacer el mercado interno.

A raíz de las transformaciones ocurridas a partir de 1989, unido al bloqueo económico que nos ha afectado durante varias décadas, se produjo un cambio en las estrategias a través de una mayor vinculación al plano internacional. Esto se evidencia en las perspectivas de la economía cubana expuestas en la Resolución Económica del V Congreso del PCC cuando se refiere (2):

"La biotecnología, la industria médico-farmacéutica y de equipos médicos, y los centros asociados, cuentan con un potencial humano y técnico que se ha traducido en resultados científicos y prácticos reconocidos internacionalmente, lo que permite trazar objetivos superiores a los logrados hasta el presente y para lo que será necesario impulsar su comercialización externa y el desarrollo continuado y creciente de nuevos productos. Estas actividades continuarán contribuyendo decisivamente a la preservación y el mejoramiento de la salud y la calidad de vida de la población, al posibilitar la extensión de los programas de salud y el desarrollo de otras ramas de la economía."

"El apoyo económico estatal de la agricultura se concentrará en la introducción de nuevas variedades, tecnologías y productos fundamentalmente biotecnológicos, las obras de interés social y el incremento de la producción"

Esta voluntad de desarrollar la biotecnología en Cuba se ha manifestado en las inversiones de alrededor de mil quinientos millones de USD realizadas en la isla en los últimos 12 años; alrededor de trece mil personas trabajan en actividades vinculadas a la biotecnología y sus especialidades en más de cincuenta instituciones; se han presentado más de 360 patentes por instituciones cubanas en la esfera de la salud desde 1987 hasta la fecha (13). Además, entre los avances obtenidos en este sector, específicamente en el desarrollo de productos biotecnológicos y farmacéuticos, lo cual ha constituido un programa nacional de ciencia y tecnología que se viene ejecutando desde 1996, podemos citar 46 medicamentos entregados al registro estatal, 6 ensayos clínicos en ejecución avanzada, 20 patentes solicitadas en Cuba y 4 en el exterior, 177 publicaciones en su mayoría en revistas de impacto, entre otros.

A principios de 1999 la biotecnología en Cuba había alcanzado ganancias netas que ascendían a los 40 millones de dólares anuales (12). Esta disciplina en la nación se expande mediante la fabricación y exportación de múltiples productos desde vacunas para humanos hasta semillas artificiales e implementos para la agroindustria, pasando por la búsqueda de la ansiada fórmula para la prevención del SIDA y otras enfermedades mortales. Por otra parte, con la invención de biofertilizantes y maduradores biológicos, el gobierno busca rehabilitar también la deprimida industria azucarera.

Evidencias como la obtención de la vacuna antimeningocócica tipo B en 1986, premiada por la Organización Mundial de la Propiedad Industrial (OMPI), la asimilación con la inclusión de mejoras tecnológicas y de calidad de un conjunto de productos obtenidos por recombinación genética como la vacuna contra la hepatitis B, interferones, Factor de Crecimiento Epidérmico, entre otros, el desarrollo de Programas de diagnóstico con los Sistemas Ultramicroanalítico (SUMA) y Neurofisiológicos, la obtención de fármacos de avanzada como el Policosanol (PPG) también premiado por la OMPI, la generación y producción de una amplia gama de anticuerpos monoclonales, así como haber logrado incorporar al Sistema de Salud más del 90% de los medicamentos genéricos que se demandan con formas terminadas producidas en el país, entre otros ejemplos demuestran las posibilidades con que cuenta el país para seguir desarrollando esta rama de conocimiento intensivo. Cuba produce hoy 13 productos biotecnológicos, 2 de ellos de

patente propia y únicos en el mundo (la estreptokinasa recombinante y la vacuna antimeningocócica B) (3).

En estos últimos años en el sector agrícola se ha logrado producir semillas de alta calidad a través de una red de biofábricas que cubre todo el país, con una capacidad de más de 60 millones de vitroplantas; se obtuvo la tecnología de inmersión temporal por organogénesis con un coeficiente de reproducción de plantas 10 veces superior a los métodos convencionales de micropropagación; se han desarrollado metodologías eficientes de transferencia, con técnicas de ingeniería genética y biología molecular en caña de azúcar, boniato, café, fruta bomba, plátano, etc para incrementar su resistencia a plagas, enfermedades o estrés ambiental; se han incorporado las técnicas moleculares al diagnóstico agrícola, produciéndose nacionalmente medios y juegos para el diagnóstico de fitopatógenos para enfermedades virales y bacteriana de la caña de azúcar, papa, plátano, hortalizas y cítricos (1).

Se han logrado ciertos avances en las líneas de investigación de la biotecnología animal como la obtención de 2 vacunas veterinarias de nueva generación y algunas nuevas tecnologías para la nutrición; al propio tiempo se han obtenido animales transgénicos (conejos y ratones) que expresan diferentes proteínas para uso humano; se ha desarrollado y extendido la tecnología de trasplantes de embriones en todo el país. Mediante transgénesis por hormona de crecimiento de peces se desarrolló la tilapia transgénica (1).

En el marco de la bioseguridad, con relación a todo lo concerniente al uso de organismos genéticamente modificados y los análisis de riesgo a realizar, Cuba presenta una posición privilegiada al contar con un Centro Nacional de Seguridad Biológica y con una Ley de Seguridad Biológica (1).

III. BREVE PANORAMICA DE LA BIOTECNOLOGIA EN EL CONTEXTO MUNDIAL.

Desde el punto de vista internacional, el 85% del mercado farmacéutico mundial lo dominan Estados Unidos, Europa Occidental y Japón, liderado por el primero. Las grandes transnacionales de la industria farmacéutica participan cada vez más en el desarrollo de la biotecnología, por ejemplo, los nuevos productos claves previstos para el crecimiento de la industria durante los próximos 4 años están asociados en su mayoría a transnacionales y se espera que para ese período este mercado mantenga un crecimiento promedio anual de 7,8%, alcanzando los 406 billones de dólares en el 2002. Además, entre las grandes corrientes de desarrollo en salud, se plantea que las neurociencias alcanzarán su trascendencia máxima en el siglo XXI y muchos lo consideran como el "siglo del cerebro" (3).

Mientras tanto, son considerados los líderes mundiales de los productos biotecnológicos agrícolas Estados Unidos y Canadá y se estima que el mercado biotecnológico agrícola tiene ventas actuales entre 700-1000 millones de dólares, encabezados por los bioplaguicidas con ventas de aproximadamente 270 millones de USD, seguido de las plantas transgénicas 205 millones de USD y los diagnosticadores 100 millones de USD. Los productos farmacéuticos derivados de las plantas se estima reportan ventas de aproximadamente 100 millones de USD (1).

Las compañías internacionales dedicadas a la industria de la biotecnología en el mundo destinan como promedio alrededor del 45% de sus ganancias anuales a la I+D, lo que

significa que aproximadamente la mitad del valor de la industria radica en su capital intelectual. Esto está estrechamente vinculado a la actual exigencia de protección por patentes para prácticamente todos los productos, incluyendo los medicamentos, siendo ello supervisado por la Organización Mundial del Comercio (10,13). Con vista a disminuir gastos se observa la tendencia a contratar entidades externas para investigaciones más básicas y servicios de estudios preclínicos y entre las compañías líderes prolifera el establecimiento de alianzas que les permitan expandir capacidades con fuentes externas (3).

Por otra parte, existe una complejidad creciente del ambiente regulatorio para los productos biotecnológicos, farmacéuticos y de alta tecnología. Existen normas específicas para productos biotecnológicos, normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y se desarrolla un proceso de armonización regulatoria entre los países desarrollados, convirtiéndose cada vez más las regulaciones de calidad en barreras técnicas al comercio y mecanismos de proteccionismo (3). El Acuerdo sobre los Aspectos de Propiedad Intelectual para el Comercio (ADPIC) de la Organización Mundial del Comercio (OMC), la revisión de 1991 del Convenio de la Unión para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), el Convenio de Biodiversidad en 1992, entre otros, y su correspondiente aplicación son una muestra representativa de los acuerdos internacionales a los cuales se ha llegado y que pudieran ampliar la brecha Norte-Sur.

Aun cuando constantemente surgen nuevas regulaciones en este campo, el poder de la biotecnología como instrumento para la industria se incrementa rápidamente en el ámbito mundial. Si bien los productos biotecnológicos ocupan cerca del 10% de los proyectos farmacéuticos en desarrollo, predominando los anticuerpos monoclonales e interferones recombinantes, y en el 2000 se preve que el 6,2% del mercado farmacéutico mundial lo ocupen los fitomedicamentos, ya se desarrollan nuevas enzimas o biocatalizadores y organismos recombinantes que tienen el potencial para lograr una industria más limpia y eficiente (3). Además, la biotecnología ha permitido la creación de una amplia gama de materiales, tales como los plásticos biodegradables, biopolímeros y biopesticidas, nuevas fibras, etcétera. Estos procesos biotecnológicos están siendo usados ampliamente en la industria química, la producción de pulpa y papel, textiles y cueros, procesamiento de alimentos, (incluyendo la alimentación animal), metales y minerales y energía. Sin embargo, la aplicación de los procesos biotecnológicos constituye un reto a vencer porque pudieran ser menos efectivos, con costos y riesgos altos y operaciones de escalado con restricciones (10).

Otro dato curioso es que las empresas farmacéuticas están apostando fuerte por técnicas de química combinatoria, rastreando de modo automatizado miles de compuestos y variantes generados aleatoriamente, mientras que con suerte, hoy por hoy sólo una de cada 250.000 moléculas naturales encuentran salida a mercado (9).

Evidentemente, el espectro tecnológico de la biotecnología se ha extendido enormemente con la aparición de la transgénesis, la clonación, la química combinatoria, el mapeo del genoma, los biochips, la terapia génica, etc (3). De hecho, se plantea que la "biotecnología moderna" se gestó en 1953 cuando Watson y Crick descubrieron la estructura de la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN), portadora de la información genética en los organismos y la vía a través de la cual esa información es transmitida de generación en generación; posteriormente, en 1976 con la creación de la empresa estadounidense Gennentech se materializó la biotecnología moderna, basada en la modificación genética de los organismos productores (10).

Actualmente el genoma, la expresión de proteínas a nivel celular y las técnicas que se utilizan para su estudio ocupan el centro de las investigaciones más importantes en este sector a escala mundial, lo cual se refleja con la existencia de un Programa internacional de investigación sobre el tema: Proyecto sobre el Genoma Humano, cuyos objetivos principales son proporcionar un mapa genético de las posiciones relativas de los genes, dar un mapa físico de la posición real de los genes y determinar la secuencia de bases del ADN (3).

Hoy por hoy, la biotecnología está desempeñando un papel muy importante en la valoración de la biodiversidad tanto cultivada como silvestre: el avance de diversos proyectos sobre el genoma de plantas, y la aplicación de técnicas derivadas de la PCR (reacción en cadena de la polimerasa) están suponiendo herramientas insustituibles para evaluar la diversidad de por ejemplo los bancos de germoplasma, y ya se están empezando a localizar genes interesantes en algunas de los millones de muestras de estos bancos de semillas. (9)

En este sentido, la aplicación de la biotecnología al sector agropecuario con empleo de técnicas de modificación genética ha comenzado a ganar terreno en el plano internacional, debido fundamentalmente al incremento de la población mundial y a la decreciente productividad en función de las velocidades de crecimiento de los cultivos. Se aprecia fundamentalmente la aplicación de estas técnicas a las plantas de cultivo y silvestres y para la conservación y el almacenamiento de los alimentos de origen agrícola. Aunque la biotecnología moderna aplicada a la esfera agroalimentaria contribuye a reducir los costos de producción de los alimentos, esta aplicación no ha sido totalmente aceptada por los consumidores y también las aplicaciones biotecnológicas en la agricultura plantean riesgos para el ambiente; se preve que esta aplicación se incremente con los efectos de la degradación ambiental y los cambios climáticos en conjunción con el crecimiento de la población mundial. A principios de 1999 los Estados Unidos habían aprobado 35 cultivos que podían ser modificadas genéticamente y muchas más enzimas modificadas genéticamente usadas en el procesamiento de los alimentos; la Unión Europea había aprobado sólo 9 de estos cultivos. (10)

Entre las aplicaciones biotecnológicas al área alimentaria actualmente en explotación comercial se pueden citar: los nuevos métodos biotecnológicos de medida; la utilización de enzimas para la bioconversión del almidón en productos edulcorantes; los aromas y acentuadores del sabor; la elaboración de jugos de frutas; los aminoácidos y otras moléculas nutritivas; los alimentos fermentados con nuevas texturas; las enzimas de quesería y los productos lácteos delactosados; las levaduras híbridas (1).

Las primeras aplicaciones de la nueva biotecnología en la explotación y el diagnóstico para el sector animal han llegado al mercado a finales de los años setenta. Se encuentran en explotación comercial los siguientes productos y procesos: los métodos de diagnóstico para los animales; numerosas vacunas y moléculas terapéuticas; la fertilización in vitro de embriones; la hormona del crecimiento para incrementar el rendimiento lácteo y el peso; los productos de alimentación animal y los aditivos alimentarios; los animales genéticamente transformados disponibles en el mercado son animales de laboratorio utilizados como modelos para las enfermedades humanas (por ejemplo, un "onco-ratón" para la investigación contra el cáncer) (9).

En el terreno de la explotación vegetal, se aplican, por ejemplo, nuevas biotecnologías con fines comerciales en los materiales para el diagnóstico en las plantas; los insecticidas microbianos; las técnicas de cultivo de tejidos; las técnicas de micropropagación; las técnicas de cartografía genética. La producción agrícola tiene también aplicaciones no alimentarias, entre las que cabe mencionar algunas que están disponibles en el mercado: la conversión de biomasa en energía por la fermentación anaerobia para producir etanol o metano; la selección y los métodos de propagación para árboles y plantas ornamentales; las técnicas de cultivo de células vegetales; las tecnologías enzimáticas para la elaboración y la extracción de productos (a partir del almidón, de aceites vegetales, etc.) y la fabricación de sustancias útiles en agroquímica (9)

Otra de las tendencias que ha cobrado auge en los últimos tiempos es la aplicación de la biotecnología a la protección ambiental o biorremediación, la cual ha sido confirmada como técnicamente exitosa y menos costosa, aunque algunas de estas aplicaciones son irregulares y no demuestran aún la confiabilidad, eficacia y predictibilidad que caracteriza a los métodos físicos y químicos. Con vistas a lograr una mayor extensión de este campo, uno de los proyectos principales que desarrolla la OECD es el logro de un desarrollo industrial sostenible a través de la biotecnología, integrando cada vez más el uso de la biorremediación a las aplicaciones industriales de rutina (10).

La biotecnología está cambiando radicalmente el modo en que se buscan, descubren y desarrollan productos útiles, tanto agronómicos, como médicos e industriales, de ahí la nueva revalorización del uso sostenible de estos recursos vivos. Es decir, como expresa Muñoz (8), los recursos naturales genéticos adquieren valor económico y comercial estratégico y son el centro de una confluencia de intereses que confiere a la conservación de esos recursos una situación conflictiva entre los poseedores de esos recursos (generalmente países en desarrollo) y los usuarios de los mismos (investigadores y empresas del primer mundo).

III. ASPECTOS METODOLOGICOS

La ejecución de este estudio partió del análisis del entorno y del diagnóstico del sector de la biotecnología en Cuba, realizados previamente a este trabajo. Así, utilizando estos datos se definieron un conjunto de líneas claves que deben contribuir a lograr un desarrollo sostenible de la biotecnología.

Posteriormente se aplicó una encuesta a un grupo de expertos en la materia con vistas a realizar una valoración ponderada de los esfuerzos o la importancia que le atribuyen a cada una de las líneas identificadas para convertir la biotecnología en un sector exportador cada vez más competitivo internacionalmente. El ejercicio consistió en asignar valores entre 1 y 10 a cada una de las líneas, teniendo en cuenta los impactos económico, social, ambiental; avances y resultados alcanzados; correspondencia entre las tendencias nacionales e internacionales; aplicaciones de innovación tecnológica y otros que pudiesen tomarse en consideración según el criterio de los expertos.

Las líneas valoradas en el ejercicio aplicado a los expertos fueron las siguientes:

- Vacunas Humanas
- Diagnosticadores de la Salud Humana
- Biofármacos
- Neurociencias
- Fitomejoramiento

- Diagnóstico de fitopatógenos
- Bioproductos
- Vacunas Veterinarias
- Diagnosticadores Veterinarios
- Mejoramiento Genético Veterinario
- Nutrición
- Energía
- Producción Industrial de Enzimas
- Tratamiento de Residuales
- Otras

V. RESULTADOS Y DISCUSION

La Encuesta fue aplicada a 27 expertos, de los cuales habían respondido el 50% hasta el momento de elaboración de este trabajo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

En el procesamiento de la encuesta consideramos que la incidencia de cada línea, en cuanto a su participación de forma creciente en la estructura de exportaciones del país y en el desarrollo de una biotecnología sostenible en Cuba, se establecería a partir de rangos de valores, es decir, valores entre 7-10 (alta incidencia), entre 4-6 (mediana incidencia) y valores entre 0-3 (baja incidencia). Se determinó el porcentaje que correspondía a las valoraciones realizadas por rango, con respecto al total de valores. Además, con el fin de complementar estos resultados se determinó el índice promedio por línea y por rango.

Los resultados alcanzados indican que las líneas seleccionadas son de alta o mediana incidencia para el desarrollo de una biotecnología sostenible en las condiciones de nuestro país, lo cual corrobora que la selección de estas líneas fue adecuada ya que no fueron sugeridas otras y se les asignaron valores relativamente altos a cada una de las áreas evaluadas.

Los expertos consideraron que las líneas con alta incidencia (tabla 1) fueron: **Vacunas Humanas, Neurociencias, Nutrición, Energía, Bioproductos, Tratamiento de Residuales, Fitomejoramiento, Diagnosticadores para la salud humana, Biofármacos, Vacunas Veterinarias y Mejoramiento Genético Veterinario**. Con mediana incidencia se encontraban las siguientes: **diagnóstico de fitopatógenos, Producción Industrial de Enzimas y Diagnosticadores Veterinarios**.

Como anteriormente se expresaba, fue determinado el índice promedio por línea y por rango, lo que nos permitió profundizar en el análisis en los casos en que se presentaban porcentajes de incidencia similares. Tales son los casos de las líneas **Vacunas Humanas y Neurociencias**, en los cuales el valor alcanzado fue de 80,5% en ambos casos y sin embargo, el índice promedio resultó 8,0 y 8,5 respectivamente, lo que nos indica que a las Neurociencias, desde el punto de vista prospectivo, debe concedérsele un mayor impulso en los próximos años, a fin de alcanzar una mayor asimilación y presencia de sus resultados en el mercado de productos biotecnológicos, de los que existe una demanda creciente. Este es el enfoque que hemos utilizado en todos nuestros análisis, es decir, que debemos concentrar un mayor esfuerzo en aquellas líneas donde los valores de la incidencia y los índices promedio indican que existe una brecha más amplia a recorrer para situarnos una posición ventajosa y lograr un desarrollo armónico y sostenible de la

rama biotecnológica en general. Esto coincide con la proyección elaborada para las investigaciones científicas a nivel nacional para la próxima etapa, donde se ha propuesto la inclusión y elaboración de un Programa Nacional que incluya estos aspectos. Además, los avances del Proyecto Genoma Humano a nivel internacional propician el desarrollo acelerado en este campo.

En el caso de **Bioproductos y Tratamiento de Residuales** (ambos con 66,7% de incidencia), el valor del índice promedio resultó de 7,65 y 8,25 respectivamente, lo que indica que existe una valoración superior para la importancia que debe prestarse a la segunda línea. Esto pudiera estar relacionado con la significación que internacionalmente ha adquirido el tema medioambiental, por las implicaciones de la contaminación ambiental que se materializan día a día en el planeta y por ser este un aspecto en el que se ha incursionado con menor intensidad en nuestro país, así como por la gran cantidad de regulaciones y legislaciones que en plano internacional se han generado y que inciden directamente en el desarrollo tecnológico y en la comercialización de diferentes productos. Esto no quiere decir que debemos renunciar al desarrollo de los bioproductos, sino que se debe tener una mayor celeridad a fin de alcanzar un desarrollo adecuado.

Resulta interesante que según los valores obtenidos en la encuesta, todas las áreas relacionadas con la salud humana se consideraron de alta incidencia, a diferencia de las que correspondían al sector agrícola, dentro de las cuales no alcanzaron esta "categoría" el diagnóstico de fitopatógenos y los diagnosticadores veterinarios. Entre las líneas de biorremediación, es decir, energía, tratamiento de residuales y producción industrial de enzimas, solamente la última no fue considerada de gran incidencia para el desarrollo biotecnológico futuro.

Como se ha visto, las áreas relacionadas con la salud humana son de alta incidencia. Esto se debe en gran parte a que el desarrollo de la bioindustria, no sólo en Cuba sino también a escala mundial, desde sus inicios se ha centrado en estas líneas, por lo que tienen un desarrollo pretérito mayor; en las mismas se han realizado grandes inversiones que en muchos casos ya se han recuperado y es donde existe un mayor avance desde el punto de vista de la comercialización, por lo que el desarrollo prospectivo de este campo es menos incierto.

El progreso alcanzado en esta rama nos ha permitido incursionar en un segmento de mercado con cierta seguridad, dada la calidad de nuestros productos, lo que hace necesario el desarrollo continuado de dichas líneas a fin de mantener el prestigio y posicionamiento adquirido. Por otra parte, entre las necesidades urgentes a resolver, se encuentra el establecimiento de las regulaciones, registros, patentes, comercialización, etc, necesarias para poder explotar internacionalmente nuestras producciones.

Pudiera añadirse que, se han logrado productos de alto valor añadido (como los anticuerpos monoclonales, interferones, los diagnosticadores, entre otros) de los cuales con pequeñas producciones se ha podido satisfacer las necesidades del mercado, requiriendo menos capital para su producción.

En el caso del sector agrícola, la escasez y agotamiento de los recursos naturales y el incremento acelerado de la población mundial, ha hecho necesario el impulso de la aplicación de técnicas de la biotecnología moderna en el sector agroalimentario, dentro de las prácticas de agricultura sostenible y de la conservación de la biodiversidad, por la

necesidad imperiosa de aumentar la producción de alimentos; se precisa financiamiento para estimular la I+D agrobiotecnológica (7)

Es relativamente poco el trabajo que se está realizando en este sector en los países en desarrollo, existiendo posibilidades de añadir valor a los productos agropecuarios. Resultados similares fueron obtenidos en nuestros estudios, donde la línea de mayor incidencia en este sector fue la de **Nutrición**.

Como se ha planteado en numerosos estudios, durante casi 30 años nuestra economía se comportaba de forma muy dependiente del comercio exterior: aproximadamente el 5% de las proteínas y más del 50% de las calorías que se suministraban eran importadas, más de la mitad de las tierras cultivadas se destinaban a las exportaciones; entre el 75-80% del equipamiento para la inversión era de importación. A partir de 1989, el agudo cambio en las condiciones externas ha tenido un impacto considerable en la economía cubana. La producción se redujo, en especial la destinada al consumo interno, afectándose considerablemente la disponibilidad de alimentos y el abastecimiento de productos agrícolas. Es por ello, que los resultados alcanzados en el ejercicio prospectivo indican la necesidad de dedicar significativos esfuerzos y recursos a esta línea.

Con relación al **Fitomejoramiento**, la comercialización de las plantas transgénicas obtenidas a partir de cultivares de interés nacional (incluyendo también la utilización de marcadores moleculares) ocupa el segundo lugar en el mercado de productos agrobiotecnológicos, lo que justifica que debemos prestar una especial atención a la misma. De hecho existen varios proyectos en ejecución sobre estas temáticas como alternativa importante a la escasez de variedades cubanas mejoradas por cruzamiento en varios cultivos y posibilitando el perfeccionamiento de las variedades tradicionales. Igualmente ocurre para la producción de semillas por vía biotecnológica, en la que ya se observan resultados promisorios.

Los **Bioproductos** constituyen la línea de mayor comercialización en el mundo actualmente en el campo de la Biotecnología Agrícola y Cuba ha obtenido avances importantes, por lo que se propone continuar desarrollando nuevos productos y tecnologías acordes con la proyección mundial y nuestras necesidades, lo que explica los valores alcanzados en nuestro ejercicio. Es importante tener en cuenta el interés que demuestran las grandes firmas comerciales en algunos bioproductos como los biofertilizantes compuestos, los bionematicidas y bioacaricidas, así como el empleo de nuevos procesos biotecnológicos como la fermentación en fase sólida, entre otros.

En cuanto a **Mejoramiento y genética animal**, los valores de incidencia alcanzados fueron similares para los 3 rangos establecidos (alta, media y baja), por lo que fue necesario acotar aún más esta información mediante el cálculo de la desviación media de los índices promedio, correspondiendo la menor desviación al índice de alta incidencia. En este caso, se resalta la obtención de animales transgénicos, línea que aunque en nuestro país no se encuentra en pleno desarrollo, en el mundo se han obtenido grandes resultados y la tendencia actual es la utilización de la técnica de transgénesis unida a la clonación como alternativa para obtener mayor número de proteínas de uso humano y la concepción de nuevas vacunas mediante la inserción de un receptor para determinado patógeno. Cuba también prevé la utilización de los animales transgénicos en la solución de problemas alimentarios.

Dentro de las líneas relacionadas con la **Biorremediación**, se encuentra con alta incidencia **Energía**, lo que reviste una especial importancia ya que es relativamente poco el trabajo que se está realizando en este sector en los países en desarrollo, Cuba entre ellos, particularmente en la obtención de procesos más favorables para el medio ambiente o una utilización más eficaz de la energía, por lo que debemos acelerar los trabajos que en este sentido se vienen realizando (vinculados a la industria petrolera, como la desulfurización del petróleo y la producción de biohidrógeno). Internacionalmente se ha incursionado en la utilización futura de bioetanol para la transportación, producido a partir de residuos agrícolas y que a diferencia de los combustibles convencionales, no contribuye a aumentar el efecto de los gases invernadero, aunque aún no es competitivo. En este contexto, la Agencia Internacional de Energía ha creado una Comisión sobre Bioenergía que ha contribuido directamente a extender el uso de los biocombustibles en Europa.

En relación al **Tratamiento de Residuales**, éste tiene un gran potencial para lograr una industria más limpia y eficiente, jugando un rol muy importante en el desarrollo sostenible de la sociedad, atendiendo a los compromisos adquiridos en la Cumbre de Río y su Agenda 21. Cuba ha iniciado los pasos para la obtención de tecnologías para producciones limpias que permitan la introducción en el mercado de productos con estas características, minimizando los efectos de la polución. Un ejemplo de ello lo constituye el aprovechamiento biotecnológico de los residuales del cafeto en la alimentación animal y como materia prima para la obtención de biogas.

Dentro de la alta incidencia, pero con los menores valores, resultaron las **Vacunas Veterinarias**. En nuestro país, aún cuando se aplican las tendencias más actuales de la vacunología y se cuenta con dos vacunas recombinantes, registradas y comercializadas, los resultados en esta área son escasos, por lo que es necesario trabajar aceleradamente en el futuro cercano, ya que los controles y la prevención de la salud animal resultan estratégicos para la consecución de sistemas productivos eficientes.

Entre las líneas que alcanzaron valores de mediana incidencia, según la opinión de los expertos, que consideraron que tenían una relativamente menor significación, se encuentran el **diagnóstico de fitopatógenos, la producción industrial de enzimas y los diagnosticadores veterinarios**. Es necesario señalar que en el área de los diagnosticadores, las disponibilidades de financiamiento se han visto limitadas, lo que ha provocado cierto retraso. Se deberá tener en cuenta en el momento en que se logre un mayor avance en estas líneas, la inclusión de la asistencia técnica o servicio especializado, a fin de incrementar la introducción de los mismos en el mercado.

En el caso de la **producción industrial de enzimas**, se repite la situación con relación al financiamiento, por resultar altamente costosos el equipamiento y los escalados, además de los riesgos que desde el punto de vista ambiental u otros pudiera acarrear. En esta área sería muy importante el análisis profundo del estado del arte, pues pudiera resultar más ventajosa la transferencia de tecnologías consolidadas que la propia generación de conocimiento.

VI. CONCLUSIONES

1. Las líneas seleccionadas se corresponden con las prioridades estatales proyectadas para los próximos años

2. Todas las líneas seleccionadas se consideran de alta importancia para el desarrollo sostenible de nuestra economía y nuestra sociedad. Ninguna obtuvo valores de baja incidencia.
3. Se evidencia la importancia de que las ramas relacionadas con la agrobiotecnología y la biorremediación aceleren su desarrollo, teniendo en cuenta las posibilidades de mercado tanto nacional como internacional. Deben asimismo mantenerse los esfuerzos y resultados alcanzados en cuanto a salud humana, ya que se considera que las tres ramas de conjunto pueden producir importantes aportes desde el punto de vista económico, social, tecnológico y comercial para nuestra nación.
4. En consonancia con esto, resulta importante la elevación de la cultura en materia de regulaciones y legislaciones en este sector (fundamentalmente aquellas aplicables a la comercialización) en las ramas agrobiotecnológica y de biorremediación, actualmente deficitaria en relación con las de salud humana.
5. Es importante conceder un impulso a las Neurociencias en el próximo período, a fin de alcanzar una mayor asimilación y presencia de sus resultados en el mercado de productos biotecnológicos, de los que existe una demanda creciente.
6. Necesitamos incrementar la vinculación entre el sector académico y el productivo, bastante consolidado en la rama médico - farmacéutica, lo cual puede contribuir al establecimiento de una nueva cultura empresarial que propicie el incremento de la competitividad en esta disciplina.

VII. RECOMENDACIONES

1. Aun cuando han sido identificadas las líneas prioritarias de la biotecnología cubana, debe profundizarse en la solución de problemas concretos que no se han precisado pero pueden ofrecer ventajas competitivas. Estos están vinculados a las áreas agrobiotecnológica y de aplicación de la biotecnología a la protección del medio ambiente.
2. Se debe tener en cuenta que existe una relación recíproca entre la identificación de los nichos de mercado a través de estudios de mercado para comercializar nuestros productos y los estudios prospectivos realizados en esta disciplina basados en la actividad de investigación desarrollo. Resulta insuficiente el hecho de establecer nuestras prioridades solamente a partir de las tendencias actuales de I+D.
3. Se debe prestar una mayor atención en las ramas de agrobiotecnología y biorremediación a la elevación de la cultura en materia de regulaciones, fundamentalmente para el comercio. Además, se requieren infraestructuras idóneas, con servicios periféricos sólidos y bien organizados, garantizando un mejor acceso y utilización de la información.
4. De significativa importancia sería incrementar la integración de diferentes disciplinas como *la informática con la biotecnología* en función de potenciar los resultados, en temas como la modelación de moléculas y la cartografía de las estructuras moleculares, lo que implicaría ahorro de tiempo y recursos.

5. Profundizar en los estudios de I+D acerca de bioseguridad y biodiversidad como factores claves y decisivos para la proyección económica y social de la biotecnología, los cuales se interconectan con los soportes científicos y técnicos indispensables para que la biotecnología sea posible como instrumento de producción.
6. Deben profundizarse estos estudios con una muestra mayor para comparar los datos.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Agencia de Ciencia y Tecnología (ACYT, CITMA). (1999): Propuesta para la Estrategia de la Biotecnología Agrícola hasta el 2005. La Habana, Cuba.
2. Díaz, S. (1999): El recurso humano nos hace fuertes. (Entrevista concedida a Alberto Nuéz Betancourt). Periódico Granma, 14 de mayo. La Habana, Cuba.
3. División de Biomedicina. CITMA. (1999): La Ciencia y la Innovación en la Industria Biofarmacéutica (ideas básicas para su proyección estratégica). La Habana, Cuba.
4. Fernández Font, M. (1995): Gestión Tecnológica y Competitividad. Estrategia y filosofía para alcanzar la calidad total y el éxito en la gestión empresarial. Editorial Academia. La Habana, Cuba.
5. Iáñez Pareja, E. (1998): Biotecnología global, bioseguridad y biodiversidad. Universidad de Granada [Publicado en INTERNET, 03/09/99]
6. Interián, S., Henríquez, E. y Chías, L. (1998): Seguridad del abasto alimentario en Cuba y México: producción y logística. Ediciones Geo, La Habana, Cuba.
7. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). (1998): La Ciencia y la Innovación Tecnológica en Cuba. Bases para su proyección estratégica. La Habana, Cuba.
8. Muñoz, E. (1997): Nueva biotecnología y sector agropecuario: el reto de las racionalidades contrapuestas. Número de referencia: 1948 Instituto de Estudios Sociales Avanzados (CSIC) [Publicado en INTERNET, 01/12/97]
9. Muñoz, E. (1998): La biotecnología ante su espejo. Sociedad, Industria, Desarrollo y Medio Ambiente. Tres imágenes. [Documentos de Trabajo del IESA-CSIC, N° 98-14.] [Publicado en INTERNET].
10. OECD. (1999): Modern Biotechnology and the OECD. Policy brief. Organisation for Economic Cooperation and Development. [INTERNET publication].
11. Partido Comunista de Cuba (PCC). (1997): Resolución Económica del V Congreso del PCC, Periódico Granma, Suplemento Especial (13-10-97). La Habana, Cuba.
12. Prensa Latina. Notas cablegráficas. (1999). Diciembre. La Habana, Cuba.
13. Sasson, A. (1998): Biotecnologías aplicadas a la producción de fármacos y vacunas. Monografía. Editorial Elfos Scientiae. La Habana, Cuba.
14. Solleiros, J.L., Castañón, R. (1998): Estrategias tecnológicas de empresas latinoamericanas biotecnológicas exitosas. Memorias IBERGECYT 1998, La Habana, Cuba.

IX. ANEXO

Tabla No.1. Resumen del porcentaje de incidencia y del índice promedio alcanzado por cada una de las líneas sometidas al criterio del grupo de expertos.

LÍNEA	% INCIDENCIA	ÍNDICE PROM.
ALTA INCIDENCIA		
VACUNAS HUMANAS	80,5	8,0
NEUROCIENCIAS	80,5	8,5
NUTRICION ANIMAL	73,3	8,02
ENERGIA	70,8	7,88
BIOPRODUCTOS	66,7	7,65
TRATAMIENTO RESIDUALES	66,7	8,25
FITOMEJORAMIENTO	60,0	8,3
DIAGNOSTICADORES (S.HUM.)	57,5	7,6
BIOFARMACOS	51,3	8,08
VACUNAS VETERINARIAS	50,0	7,27
MEJORAMIENTO GENETICO VET.	33,3	7,8
MEDIANA INCIDENCIA		
DIAGNOST. DE FITOPATOGENOS	50,0	4,85
PROD. INDUSTRIAL DE ENZIMAS	50,0	5,73
DIAGNOSTICADORES VETERINARIOS	46,7	5,14