

# *El Subsistema Nacional de Innovación en Biotecnología: el papel de los centros de investigación en México*

ALEXANDER VERA-CRUZ, JUAN CARLOS VILLA

SOTO Y ABRAHAM VILLEGAS DE GANTE\*

## **Introducción**

La innovación es un elemento clave de la estrategia de los países y las empresas para competir en el marco de la nueva economía mundial. Una de las características más importantes de esa estrategia es el control de las tecnologías genéricas, ya que éstas repercuten en la eficiencia tecnológica y productiva de una amplia gama de sectores.<sup>1</sup>

La globalización económica es uno de los retos más importantes para incrementar la competitividad, sobre todo en los países menos desarrollados. Quizás éstos puedan competir con ventaja si participan en el desarrollo de tecnologías incipientes y estratégicas como la biotecnología.

El mundo se encuentra inmerso en una “vasta ola de cambios técnicos” desde los setenta gracias a la combinación de la revolución microelectrónica, el desarrollo de sistemas tecnológicos asociados a la biotecnología y el modelo japonés de organización flexible. La definición y la adopción plenas de normas y

1. D. Erns y D. O'Connor, *Technology and Global Competition*, Centro de Desarrollo de la OCDE, 1988.

\* *Profesor-investigador de la Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico y del Departamento de Producción Económica de la UAM-Xochimilco; profesor asociado de la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina de la UNAM y Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, e investigador del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma de Chapingo y Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, respectivamente.*

rutinas acordes a los nuevos sistemas tecnológicos abrió un período (que aún no concluye) de discontinuidad en el progreso técnico en que los conocimientos cardinales para poner en marcha el nuevo patrón de desarrollo tecnológico siguen libres y que las empresas y los países rezagados pueden aprovechar como “ventana de oportunidad” para acelerar su crecimiento y desarrollo.<sup>2</sup>

En el campo de la biotecnología existe esa ventana no sólo porque su incipiente desarrollo posibilita el libre acceso a conocimientos claves, sino también porque ofrece una amplia gama de aplicaciones en áreas productivas de gran repercusión económica y social. Poder aprovechar esa oportunidad depende en gran medida de la celeridad con que los países creen las instituciones adecuadas para insertarse con ventaja en las nuevas condiciones de competitividad.

En México hay centros de investigación biotecnológica de excelencia. Esa base científica representa una oportunidad para la temprana inserción del país en un sector con altas potencialidades económicas. Sin embargo, se ha señalado que la investigación de esos centros no está articulada con el aparato productivo.<sup>3</sup> Tal desvinculación, en un entorno en el que predominan

2. C. Pérez, “Cambio técnico, reestructuración competitiva y reforma institucional en los países en desarrollo”, *El Trimestre Económico*, núm. 59, 1992, pp. 25-64.

3. R. Casas, “Las capacidades de investigación biotecnológica en México en el área agroalimentaria. Tendencias durante la década de 1980”, *Sociológica*, núm. 16, mayo-agosto de 1991, pp. 151-181; R. Quintero (comp.), *Prospectiva de la biotecnología en México*, Fundación Javier Barros Sierra, A.C., y Conacyt, México, 1985; E. Galindo Fentanes, “Biotecnología: oportunidades y amenazas”, *Ciencia y*

empresas con una cultura tecnológica poco desarrollada, puede diluir las expectativas de lograr la competitividad que exige el proceso de globalización, desperdiciando así la “ventana de oportunidad” que ofrece el nuevo paradigma tecnoeconómico asociado a la biotecnología.

Este estudio analiza la función que han desempeñado los centros de integración del Subsistema Nacional de Innovación en Biotecnología en México. El examen de esta pieza del complejo institucional, con base en los elementos de la política científica y tecnológica que han regulado su comportamiento, permitirá comprender mejor los factores que han favorecido u obstaculizado que la estructura productiva aproveche sus capacidades endógenas de ciencia y tecnología.

Las instituciones seleccionadas para el estudio son el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (DBB-Cinvestav), la Unidad Irapuato de ese Centro (Cinvestav-Irapuato) y el Instituto de Biotecnología de la UNAM (IB-UNAM). En una evaluación reciente de alrededor de 44 instituciones similares del país, esos fueron (junto con otros cuatro) los centros considerados dinamizadores de la biotecnología que según la tipología son los que: 1) tienen mayor capacidad de generar descubrimientos científicos y nuevos métodos y técnicas para resolver problemas biotecnológicos; 2) cuentan con investigadores con un grado de especialización elevado; 3) disponen de equipos de trabajo interdisciplinarios y realizan proyectos colectivos; 4) mantienen comunicación directa y permanente con centros internacionales de excelencia y desarrollan proyectos en colaboración con instituciones del extranjero, y 5) concentran la mayor parte del financiamiento nacional destinado a la investigación.<sup>4</sup>

Punto de referencia de este análisis lo constituyen las universidades públicas, pues en ellas se realiza básicamente la investigación biotecnológica en México, al igual que en la mayoría de los países menos desarrollados.

## El Sistema Nacional de Innovación

Todo indica que el proceso creativo se acelera y difunde con mayor rapidez y eficacia cuando la investigación tecnológica se realiza en las empresas. Sin embargo, la naturaleza de la tecnología<sup>5</sup> (localizada, específica, acumulativa e incorporada en per-

*Desarrollo*, núm. 80, mayo-junio de 1989, pp. 21-40, y Alexander Vera-Cruz, *La promoción estatal de la biotecnología en México, 1983-1988*, Cecodes, México, 1989.

4. R. Guadarrama, A. Blanco y G. Mejía, “Institucionalización de la biotecnología en México. Estrategia y perspectiva de desarrollo”, en M.A. Campos, *Política científica e innovación tecnológica en México: retos para la Universidad*, IIMAS, UNAM, México, 1992.

5. Mario Cimoli y Giovanni Dosi, “De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación”, en este número de *Comercio Exterior*.

sonas e instituciones) confiere un peso muy importante a la participación de otras instituciones. Ello destaca la importancia del Sistema Nacional de Innovación (SNI), concepto que comenzó a configurarse a mediados de los ochenta para comprender el papel de las instituciones y los mecanismos de acción en la dinámica innovativa de los países.

El Sistema se puede definir como el conjunto de instituciones y agentes cuya interrelación determina el poder y la eficiencia en la producción, así como la difusión y el uso de nuevo conocimiento económicamente útil en el marco de un Estado-nación.<sup>6</sup>

La innovación es un proceso ubicuo, continuo y complejo que ocurre en la esfera de la producción, pero se sustenta en la investigación científica y tecnológica y en el aprendizaje interactivo.<sup>7</sup> Ello implica el intercambio de conocimientos entre diversos agentes que se relacionan en una red de creación tecnológica.

La cooperación formal e informal entre las instituciones participantes en ese proceso es un fenómeno muy extendido en los países industrializados. En el caso de la biotecnología ello se ha acentuado porque su desarrollo requiere del concurso de conocimientos fundamentales de carácter interdisciplinario y del financiamiento público y privado.

Si bien la globalización ha intensificado los vínculos internacionales en la generación y la difusión de nuevas tecnologías<sup>8</sup> (sobre todo en sectores intensivos en conocimiento científico),<sup>9</sup> dicha cooperación puede debilitar la coherencia de un sistema nacional. En este sentido, el concepto también ha mostrado sus bondades en la elaboración de políticas de ciencia y tecnología que se desprenden del enfoque sistémico del proceso innovativo y se orientan a fortalecer la interacción de los participantes del Sistema para evitar la desarticulación que inhibe el proceso innovativo.<sup>10</sup>

## *El Subsistema Nacional de Innovación en Biotecnología*

La aplicación del concepto de Sistema Nacional de Innovación al estudio del desarrollo de la biotecnología debe incluir la in-

6. R. Nelson y N. Rosenberg, “Technical Innovation and National Systems”, en R. Nelson (ed.), *National Innovation Systems: a Comparative Analysis*, Oxford University Press, Nueva York, y B.Å. Lundvall, “Introduction”, en B.Å. Lundvall (ed.), *National Systems of Innovation*, Printer Publishers, Londres, 1992.

7. B.Å. Lundvall, *op. cit.*

8. Office of Technology Assessment, *Biotechnology in a Global Economy*, International Conference, 1991.

9. R. Nelson y N. Rosenberg, *op. cit.*

10. B.Å. Lundvall, *op. cit.*

vestigación tecnológica y su uso productivo y comercial, no simplemente la investigación básica. Debe incorporar un amplio conjunto de elementos estructurales, actores o nodos relacionados tanto con la oferta de nuevos conocimientos susceptibles de incorporarse a la producción (centros, institutos y unidades de investigación biotecnológica), como con la demanda de dichos conocimientos para ulteriores desarrollos y aplicaciones productivas y comerciales (empresas y organismos públicos o privados que son usuarios reales o potenciales de la biotecnología).

Asimismo debe considerar los organismos de interfase que contribuyen a la comunicación y el mutuo reconocimiento entre productores y usuarios de los nuevos conocimientos, y entre éstos y las instituciones participantes en el establecimiento de políticas de fomento de la biotecnología.

En seguida se presenta una relación de los principales agentes del Subsistema Nacional de Biotecnología en México<sup>11</sup>:

- Centros de investigación biotecnológica (dinamizadores, consolidadores, difusores y receptores).
- Instituciones de educación superior que imparten formación básica en biotecnología (UNAM, UAM, IPN).
- Laboratorios de investigación y desarrollo de empresas privadas.
- Empresas usuarias de biotecnología, nacionales y extranjeras.
- Instituciones públicas y secretarías de Estado (IMSS, Sedesol, SARH, Secretaría de Salud).
- Organismos de interfase entre centros de investigación universitarios y empresas de biotecnología (unidades universitarias de vinculación, consultoras especializadas en la transferencia).
- Organismos "transductores" de tecnología entre productores y usuarios.
- Agencias internacionales promotoras o de apoyo a la biotecnología (fundaciones extranjeras, ONU, OEA).
- Organismos estatales que elaboran y coordinan la política científico-tecnológica o de fomento de la ciencia y la tecnología (Conacty, Cosnet).

Los agentes pertenecientes a esas categorías conformarían la parte institucional del Subsistema Nacional de Biotecnología, la cual constituye la estructura de una red de vínculos inter-institucionales e interpersonales en torno a la invención, inno-

11. De acuerdo con la clasificación de R. Guadarrama, A. Blanco y G. Mejía, *op. cit.*

vación y difusión de la biotecnología en el país. Los centros que se analizan están en el núcleo de esa red.

## Los centros de investigación. Estudios de caso

### *El Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Instituto Politécnico Nacional*

El DBB-Cinvestav es la primera institución de México establecida con el objetivo explícito de desarrollar investigación en biotecnología. Nació en 1972 para dar continuidad a los esfuerzos que desde los cuarenta y cincuenta se realizaban en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del IPN en el campo de la microbiología industrial destinados al aprovechamiento de desechos industriales.<sup>12</sup>

El Departamento es producto de la iniciativa de investigadores influyentes de la ENCB interesados en desarrollar y consolidar su campo de investigación mediante la creación de un centro que permitiera captar recursos financieros y formar recursos humanos.

La motivación inicial de los investigadores encontró una coyuntura favorable a principios de los setenta, cuando México ingresó a una etapa muy importante de institucionalización de la ciencia y la tecnología con la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).<sup>13</sup> Esa fase se caracterizó por el incremento acelerado del gasto público en ese rubro y la creación de centros de investigación y desarrollo tecnológico, como el DBB-Cinvestav. Así, éste surgió como un centro de investigación y formación de recursos humanos de alto nivel orientado al desarrollo de proyectos en biotecnología y bioingeniería en los campos alimentario y ambiental. Se estructuró en cuatro grandes áreas: fermentaciones, enzimas, alimentos y ecología, alrededor de las cuales se inscribieron las líneas y los proyectos de investigación. En sus 22 años de existencia ha transitado por dos fases claramente identificables por los diferentes enfoques de su misión: posicionamiento ante el desarrollo tecnológico y estrategia de supervivencia.

#### • Primera fase: 1972-1990

Las actividades de investigación, docencia y adquisición de infraestructura se concentraron en esta fase en el desarrollo tecnológico y los vínculos con la industria. Ello se materializó

12. A. Pérez Miravete, *50 años de investigación en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas 1934-1984: una valorización crítica a la luz de su evolución histórica*, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México 1984.

13. Las características de este proceso se describen en Jaime Aboites, "Evolución reciente de la política científica-tecnológica en México", de próxima publicación en *Comercio Exterior*.

en la construcción, en las instalaciones del Centro, de una planta piloto con capacidad de 10 000 litros, con lo cual se buscaba un nivel casi industrial de desarrollo.

La planta se consideró parte fundamental de la infraestructura básica de investigación del Departamento; se orientó a brindar asesoría técnica y capacitación para adquirir y adaptar tecnologías de fermentación en la industria, y contaba con laboratorios y talleres muy completos que permitían obtener datos y controlar los fermentadores por medio de computadoras. En esa época recibió un gran impulso institucional el área de fermentaciones, en la que se concentró el personal académico (37% de los investigadores).

El Centro buscó vincularse con la industria mediante una fuerte actividad de investigación y desarrollo tecnológico. La estrategia dominante consistió en buscar autofinanciamiento mediante contratos con la industria. En esa línea se inscriben proyectos muy importantes por su duración y recursos, como los que contaron con financiamiento del sindicato azucarero para desarrollar productos a partir de materias primas y derivados de la industria respectiva.

En esa etapa los recursos humanos del Centro se formaban básicamente en instituciones nacionales y en las instalaciones del IPN. Los resultados de la investigación se solían presentar en congresos nacionales; su difusión en revistas internacionales era escasa y el promedio de publicaciones por investigador era de sólo 1.1 anual.

El ambiente de crisis de los ochenta, la reticencia de la industria para invertir en proyectos de investigación y desarrollo, ciertos instrumentos de política científica adoptados por el Conacyt y la SEP a mediados de los ochenta (como el Sistema Nacional de Investigadores) y los criterios de investigación de excelencia establecidos por “el nuevo Conacyt” (que premian la investigación básica con publicaciones en revistas internacionales) son factores que contribuyen a explicar la redefinición de las actividades sustantivas del Centro. Se puso en tela de juicio la estrategia de investigación orientada al desarrollo tecnológico y la justificación de una planta piloto de tales dimensiones.<sup>14</sup> En consecuencia, la planta se sacó del Cinvestav y se abrió una nueva fase en la vida del Centro: ahora se valora más la investigación básica y las publicaciones en revistas internacionales, que permiten al investigador pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores, así como percibir estímulos y becas, y a los centros pertenecer al padrón de posgrados de excelencia del Conacyt.

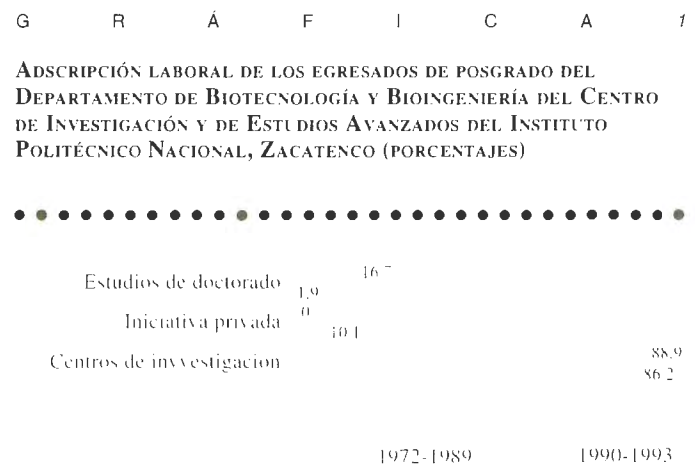
14. “En el Departamento se recordó que todos los desarrollos patentados que generó el doctor Casas Campillo para Sintex, años antes, se realizaron en reactores de uno o dos litros. Esta concepción la estamos retomando”. C. Arias, entrevista celebrada en el DBB-Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, enero de 1994.

• Segunda fase: 1991-1994

En la etapa actual se han reorientado las áreas prioritarias de investigación. Mientras que la de fermentaciones se contrajo, la correspondiente a la ecología ha ganado importancia. El cultivo de células vegetales también se ha dinamizado, sobre todo en lo que se refiere a plantas medicinales. La expansión de lo ecológico obedece a que la industria y las instituciones públicas solicitan al Centro cada vez más asesoría y servicios en esa materia, en particular sobre el tratamiento de aguas residuales. También responde al creciente interés del Centro por participar en un campo de indiscutible actualidad en el mundo desarrollado, lo cual se traduce en mayores facilidades para obtener financiamiento internacional para proyectos y en oportunidades para publicar los resultados de las investigaciones en revistas del exterior.

En cuanto a la política de formación de recursos humanos, el Departamento ha estimulado la adecuación del trabajo académico a las normas de calificación internacionales. Ello ha implicado una intensa superación académica de los investigadores mediante estancias en universidades extranjeras. Las estancias de al menos seis meses son requisito para maestrías y doctorados.

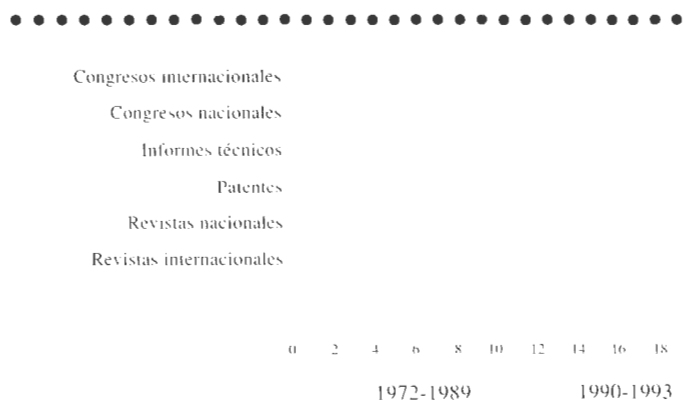
Las características de sus programas académicos, aunadas al bajo dinamismo de la demanda industrial de profesionales de alto nivel, explican que más de 80% de sus egresados se inserten en centros de investigación universitarios. Ello también explica el incremento en los estudios de doctorado, como se puede observar en la gráfica 1. La industria demanda una mínima parte de los egresados, la cual ha decaído aún más en este período. La adecuación a las normas internacionales de calificación del trabajo académico también se ha reflejado en las publicaciones. Como se observa en la gráfica 2, el elemento más dinámico



Fuente: elaboración con base en datos del Departamento de Biotecnología y Bioindustria del IPN, Cinvestav-Zacatenco.

G R Á F I C A 2

**PUBLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (PROMEDIO ANUAL)**



Fuente: elaboración con base en el Departamento de Biotecnología y Bioindustria del IPN, 1994.

corresponde a los artículos reproducidos en revistas internacionales. La productividad promedio pasó de 1.1 artículos por año a 10.7, incremento muy significativo en los períodos considerados.

La creciente preocupación del Centro por articularse en escala internacional ha reducido los esfuerzos respectivos frente a la industria nacional, con la que sus relaciones se concentran en asesorías y servicios, en particular análisis físico-químicos y microbiológicos. Sin embargo, los desarrollos biotecnológicos a los que se dedica actualmente han proporcionado al Centro un medio científico y tecnológico estructurado. Esos desarrollos son el fomento de la incorporación de plantas medicinales al cuadro de medicina básica del Seguro Social, con base en el estudio y la caracterización de sus elementos activos, y la producción de nuevos medicamentos de base biotecnológica a partir de plantas medicinales, en una vertiente distinta a la de la ingeniería genética (que se podría considerar como biotecnología intermedia). Ello permite que los usuarios expresen sus requerimientos y retroalimenten la investigación con datos útiles a partir de sus conocimientos de medicina tradicional. Como señala el doctor Arias: “Con el IMSS se está realizando un estudio con un agave conocido como amole. Un paciente decidió no someterse a un tratamiento quirúrgico para eliminar un derrame sanguíneo en el ojo. La ulterior mejoría del paciente, efecto de la medicina tradicional, llamó la atención del especialista del IMSS. Esto motivó el estudio de la raíz del amole y sus propiedades terapéuticas. Una vez que en el Departamento hayamos desarrollado la parte del cultivo celular, en el IMSS harán la evaluación biológica del compuesto.”<sup>15</sup>

15. C. Arias, entrevista citada.

Así, algunas de las investigaciones más promisorias del Departamento son multidisciplinarias e interinstitucionales: se han establecido vínculos muy importantes, por ejemplo con el Centro de Investigación de Medicina Natural del IMSS, y contactos informales con diversas instituciones de salud.

Ello ha permitido establecer un flujo de conocimientos, retroalimentación y cooperación informal entre productores y usuarios en el que participan los investigadores del Departamento, los de las instituciones de salud, los médicos y los pacientes.<sup>16</sup>

*El Cinvestav-Irapuato*

La Unidad Irapuato del Cinvestav se fundó en 1981, en la región del Bajío, para desarrollar investigación aplicada orientada a producir plantas mejoradas genéticamente. Se encuentra a la vanguardia en biotecnología de plantas. Es un Centro muy especializado, aunque incluye un amplio espectro temático generador de conocimientos básicos de biología molecular e ingeniería genética que cubren áreas de la bioquímica y la fisiología, al igual que conocimientos biotecnológicos susceptibles de tener una aplicación productiva.<sup>17</sup>

La principal motivación de los investigadores fundadores del Centro fue contar con una institución moderna, equipada y con personal joven, donde se pudiera desarrollar la biotecnología desde una perspectiva similar a la dominante en Estados Unidos a finales de los setenta y principios de los ochenta. El objetivo fundamental en los primeros años, además de formar recursos humanos muy calificados, era aprovechar el amplio potencial de la biotecnología moderna mediante el desarrollo y la comercialización de las aplicaciones de la ingeniería genética vegetal.

En particular se dio un fuerte impulso a investigaciones prioritarias que podían generar resultados aplicables a corto y mediano plazos. Ese objetivo, claramente establecido por los fundadores, determinó que la primera estructura organizativa del Centro fuera prácticamente la copia de una pequeña empresa de desarrollo tecnológico, como las *Start Ups* de Estados Unidos en los ochenta.<sup>18</sup> Al igual que en el caso anterior, el Cinvestav-Irapuato encontró a finales de los ochenta un ambiente poco favorable a la consecución de su objetivo original y, después de un período de crisis de identidad, redefinió su misión.

16. Un análisis de las características y los efectos de la articulación entre productores y usuarios se encuentra en Juan M. Corona, Gabriela Dutrénit y Carlos A. Hernández, “La interacción productor-usuario de innovaciones: una síntesis del debate actual”, en este número de *Comercio Exterior*.

17. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, *Informe 1987-1989*.

18. A. Morales Álvarez y L.R. Herrera Estrella, entrevista realizada en la Unidad Irapuato. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, febrero de 1994.



- 1981-1989: la oferta tecnológica

Durante esta fase la dirección del Centro buscó crear equipos consolidados de investigación. Dada la ausencia de un programa nacional de biotecnología, las investigaciones se definían según lo que los investigadores consideraban prioridades nacionales. Los proyectos se manejaban en cartera para su financiamiento.

El Centro se convirtió en un importante oferente de alta tecnología. Sin embargo, se enfrentó a grandes dificultades para articular los desarrollos tecnológicos elegidos por los investigadores con las necesidades de los usuarios potenciales. A ello contribuyeron básicamente cuatro elementos: 1) la biotecnología que se impulsa en el Centro es de punta y, por tanto, desconocida en el medio empresarial nacional, lo cual reduce la capacidad de retroalimentación entre investigadores y productores; 2) la biotecnología moderna sólo ofrece potencial productivo, no paquetes tecnológicos como las tecnologías de la Revolución Verde; 3) no existen estructuras que puedan servir de intermediarios entre los investigadores y el sector productivo, y 4) predomina una cultura tecnológica pobre en el sector empresarial.<sup>19</sup>

En el campo de la biotecnología agrícola existen instituciones que podrían, con apego a sus funciones, trasladar a los usuarios el conocimiento que se genera en los centros de investigación. Una es el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (Inifap), pero ciertas resistencias institucionales impidieron obtener logros en ese sentido.

En épocas más recientes el Cinvestav-Irapuato ha impartido talleres sobre biotecnología dirigidos a los agrónomos del Inifap con el propósito de mejorar la comunicación entre ambas instituciones, pero el proceso de formalización de convenios ha sido muy lento y ello ha frenado la cooperación mutua.<sup>20</sup>

Por otra parte, no existían regulaciones gubernamentales para introducir plantas transgénicas. No obstante que el primer informe de transferencia de genes extraños a una planta se hizo en 1983, apenas se está desarrollando la legislación que permite vender tales plantas. El rezago normativo sobre el uso de nuevas tecnologías, en función de su efecto ecológico, ha retrasado la comercialización de algunos productos.

El empuje de la oferta tecnológica carente de la demanda de los usuarios no fue el único factor asociado al fracaso del proceso innovativo en la relación universidad-industria. Los investigadores del Centro identificaron tres problemas acuciantes: 1) la ausencia de interlocutores en las empresas nacionales, que en general carecen de departamentos de investigación y desarrollo o técnicos (incluso en muchas de las grandes administradas con

base en una estructura muy tradicional de carácter familiar); 2) la falta de claridad en las demandas específicas de los productores, en particular la dificultad de éstos para entender la naturaleza de los desarrollos que puede ofrecer un Centro como éste (por ejemplo, la empresa quería productos probados y con mercado y el Centro ofrecía uno potencial), y 3) la escasa tradición de las empresas para financiar proyectos de desarrollo tecnológico de largo plazo. Un ejemplo ilustrativo es el desarrollo de tomates transgénicos y plantas de fresa libres de virus.

“Una empresa alimentaria que concentra 70% de la producción de mermelada del país deseaba producir plántula de fresa libre de virus para transferirla a los agricultores y establecer compromisos de producción y venta a cambio de asesoría técnica. Se acercó a la Unidad y logramos desarrollar una tecnología más barata y mejor que la disponible en el mercado internacional. Le comunicamos que tenía que establecer un laboratorio de producción y nos pidió que produjéramos la plántula en grandes extensiones. La operación se canceló porque la empresa decidió no invertir en la creación del laboratorio para producirla y el Centro decidió que no se iba abocar a tareas de producción.”<sup>21</sup>

Desde el inicio de sus operaciones, el Centro se dedicó a formar recursos humanos de alta calidad y con experiencia de investigación, aspectos fundamentales para aumentar la capacidad nacional en la nueva biotecnología. Se crearon así un programa de maestría y otro de doctorado.

Durante los últimos años del período, sobre todo a partir de 1986, los investigadores redoblaron sus esfuerzos por trasladar al sector productivo las tecnologías que desarrollaban. Visitaron personalmente a productores e intermediarios y les ofrecieron sus plantas y servicios, pero encontraron muy poca receptividad y el Centro empezó a tener problemas de financiamiento para algunos de sus proyectos más aplicados. A su vez, el Sistema Nacional de Investigadores empezó a ganar importancia; el Centro se apegó a sus criterios de evaluación e inició su reestructuración hacia la investigación básica.

- 1990-1994: redefinición de objetivos

A partir de 1989 el Centro decidió que no podía ni le correspondía estructurar todo el paquete tecnológico, es decir, desde la investigación básica hasta la comercialización de la tecnología. Tal decisión lo condujo a redefinir sus funciones sustantivas.

En esta etapa la definición del proyecto ha quedado en manos del investigador. Naturalmente la selección de los temas de investigación está más influida por la información que cada uno obtiene en los congresos internacionales que por sus ideas sobre las prioridades nacionales. Ahora las tendencias del financiamiento y las perspectivas de publicar en las revistas internacio-

19. *Ibid.*

20. *Ibid.*

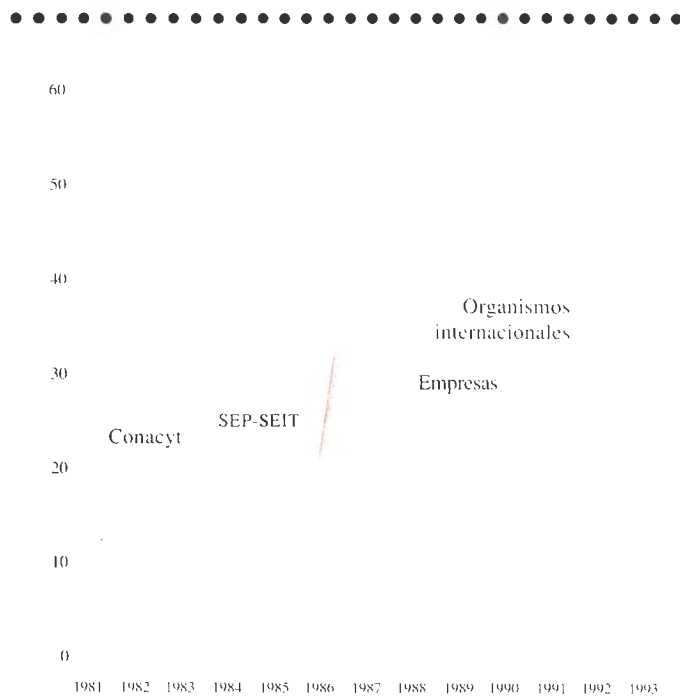
21. *Ibid.*

nales desempeñan un papel muy importante en la elección de los temas de investigación.

Desde finales de los ochenta, ante la disminución de los fondos nacionales (véase la gráfica 3), el acceso al financiamiento externo para los proyectos se convirtió en una condición de supervivencia académica de los investigadores. En 1993, 55% del financiamiento externo provino de agencias internacionales (como la Fundación Rockefeller, la ONU, la Academia de Ciencias de Estados Unidos) y de la Comunidad Europea.

G R Á F I C A 3

COMPOSICIÓN DEL PRESUPUESTO EXTERNO DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS, IRAPUATO (1981-1993)



Fuente: elaboración propia con base en información de la Dirección del Cinvestav-Irapuato, 1994.

Esa estructura de financiamiento ha garantizado proyectos competitivos y elevado el prestigio mundial del Centro, lo que facilita el acceso de los investigadores a nuevos financiamientos. La redefinición de las funciones se consolidó en el marco del Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994. El Centro se adecuó a los criterios establecidos por el nuevo Conacyt para la asignación de fondos y pudo así incrementar su cuota de financiamiento de esta institución, que representó 30% del apoyo externo en 1993. La redefinición de las funciones del Centro no ha significado precisamente que los investigadores rechacen ofertas de la industria, pero ya no las buscan.

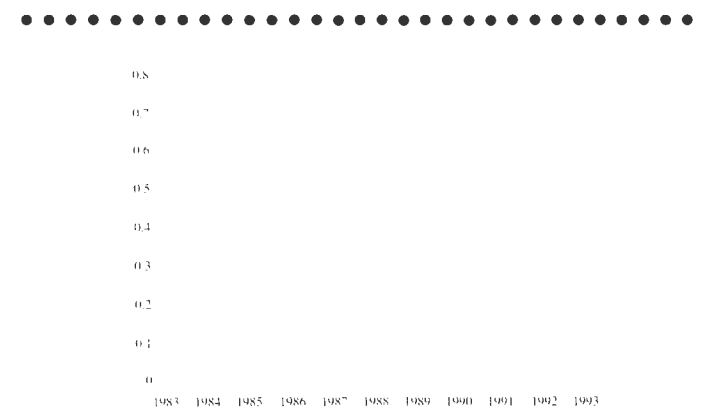
En 1993, 14% del financiamiento externo se derivó de convenios con empresas, algunas transnacionales como la Nestlé y la Monsanto. Esto se debe a que “la comunicación con las empresas transnacionales es muy buena. Algunas realizan investigación básica de alto nivel y esto les permite pensar en procesos innovativos difíciles de imaginar fuera del marco productivo. Además tienen un horizonte de planeación más amplio.”<sup>22</sup>

En 1993, 71% de los investigadores eran miembros del Sistema Nacional de Investigadores, cuyos parámetros de evaluación son en cierta forma un incentivo para la investigación básica sobre temas relevantes para los países con mayor dinamismo científico. Como señala el doctor Herrera Estrella: “Me puedo dedicar durante cinco años a desarrollar variedades de tomate de cáscara, útiles en la agricultura del país. Sin embargo, este trabajo es de importancia para México y países similares, pero no para la economía mundial; por ello, sólo sería publicable en una revista de segunda y sería poco citado.”<sup>23</sup>

De 1983 a 1993 el número de publicaciones por investigador al año en revistas internacionales creció de manera notable (de 0.14 a 0.75), como se observa en la gráfica 4.

G R Á F I C A 4

CRECIMIENTO DE PUBLICACIONES EN REVISTAS INTERNACIONALES DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS AVANZADOS, IRAPUATO (1983-1993) (PUBLICACIONES POR INVESTIGADOR)



Fuente: elaboración propia con base en información de la Dirección del Cinvestav-Irapuato, 1994.

Este proceso de aprendizaje condujo a que el Centro definiera como su propósito fundamental realizar investigación original de alta calidad. Sin embargo, se reconoce que los investigadores están abordando temas relevantes para la agricultura mexi-

22. *Ibid.*

23. *Ibid.*

cana, pero ya no como investigación a corto plazo, sino básica, que eventualmente podrá resolver los problemas que planteen los usuarios de la tecnología.

### *El Instituto de Biotecnología de la UNAM*

La fundación en 1982 del Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnológica (CIIGB) de la UNAM, en Cuernavaca, Morelos, estuvo asociada estrechamente a la labor pionera del doctor Francisco Bolívar Zapata.

El decenio de los setenta marcó el inicio de la manipulación enzimática del material genético en los seres vivos y en consecuencia la aparición de la ingeniería genética. Aunque en los ochenta se crearon en México las primeras instituciones orientadas a la investigación biotecnológica de tercera generación, no existía en ese momento un rezago insalvable con respecto a los países que marcaban la frontera del conocimiento. Es probable que el gran esfuerzo que se requirió para convencer a las autoridades universitarias y gubernamentales de la necesidad de desarrollar infraestructura en biotecnología moderna haya obedecido al estado aún incipiente de esos conocimientos en todo el mundo.

#### • 1982-1986: la tecnología competitiva

Desde su creación, el CIIGB se propuso desarrollar biotecnología en la UNAM de manera integral e interdisciplinaria con base en investigación de excelencia académica y de frontera, así como formar recursos humanos especializados. Sus funciones: generar conocimiento en biología molecular, biología celular, microbiología, bioquímica, ingeniería bioquímica, inmunología y ecología microbiana que serviría para desarrollar tecnología biológica competitiva, de preferencia en colaboración con el sector industrial, orientada a solucionar problemas en los ámbitos agropecuario, industrial, ecológico y de la salud.

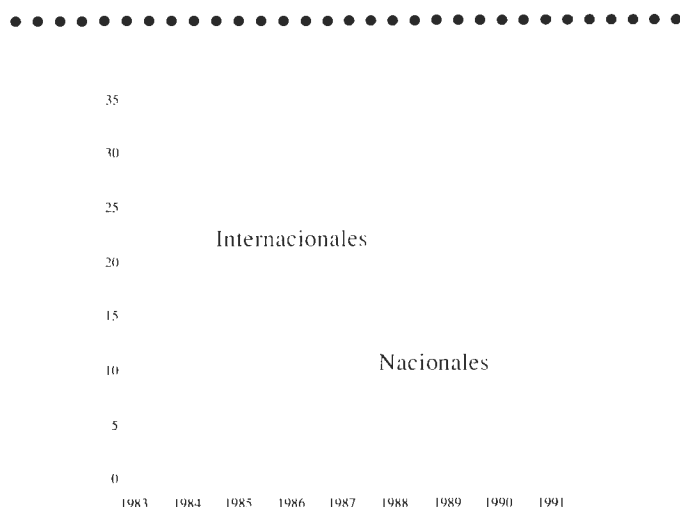
El surgimiento del Centro de Investigación Genética coincidió con la crisis económica de los ochenta. Es posible que el efecto negativo de la depresión en los centros de investigación recién establecidos no estuviera asociado exclusivamente con la inestabilidad en la asignación de recursos para la ciencia y la tecnología, sino también a la creación de empresas biotecnológicas cercanas a las actividades de la Universidad.

#### • 1986-1991: consolidación de la investigación básica

Desde su fundación el Centro ha publicado la mayoría de los productos de sus investigaciones en revistas internacionales. A partir de 1986 creció de manera acelerada el número de artículos incluidos en esas revistas (véase la gráfica 5). Si bien esto ocurrió dos años después de la creación del Sistema Nacional de Investigadores, el alto porcentaje de profesionales que tie-

G R Á F I C A 5

EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNAM EN REVISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES, 1983-1991



Fuente: elaboración propia con base en el instituto de Biotecnología de la UNAM. Informe 1991

ne el reconocimiento de aquél sugiere que también en el Centro esa política ha impreso mayor dinamismo a la producción científica.

A pesar de que el Centro surgió en un ambiente económico muy desfavorable, logró consolidarse académicamente y en 1991 adquirió la categoría de instituto: el Instituto de Biotecnología.

El Instituto ha hecho suyos, sin tener que realizar grandes cambios, los lineamientos de la política de ciencia y tecnología enunciados a partir de 1990, sin dejar de señalar que esa política no tendría por qué ser incompatible con el establecimiento de áreas prioritarias, entre las que se debería incluir la biotecnología.

El fortalecimiento de la ciencia básica en el Instituto no ha impedido que existan contratos importantes de desarrollo tecnológico con empresas nacionales e internacionales. Los estudios sobre ingeniería y tecnología de las fermentaciones le han dado la capacidad para atender ciertas necesidades de los procesos productivos.

En 1991, 29% de los convenios se suscribieron con empresas, como se observa en la gráfica 6. Sin embargo, se reconoce que en México todavía hay poco interés de la industria en participar en desarrollos de tecnología competitiva. También en este caso el financiamiento de agencias internacionales ha sido relevante. De 1989 a 1991 los convenios se concentraron en áreas en



G R Á F I C A 6

CONVENIOS ESTABLECIDOS POR EL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNAM, 1989-1991 (PORCENTAJES)



Fuente: elaboración propia con base en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, Informe 1991.



las que existía una notable producción de artículos publicados en revistas internacionales, lo cual muestra la retroalimentación entre ambos mecanismos. Sin embargo, muchos apoyos de fuentes nacionales y externas se orientaron a proyectos de optimización e integración de procesos y prototipos que pueden utilizarse en la industria. En esos proyectos, que constituyen desarrollos tecnológicos como la producción de goma xantana de grado alimentario y la insulina humana sintetizada por bacterias, participan investigadores y líderes académicos que participan en otras tareas afines en diferentes líneas de investigación.

El Instituto de Biotecnología no ha permanecido al margen del creciente interés internacional por las patentes en el campo de la biotecnología moderna. Hasta 1991 se habían registrado cuatro patentes y 19 procesos eran susceptibles de registro por propiedad con patente en trámite. Los esfuerzos principales se han orientado al estudio, la producción y el uso de proteínas y ácidos nucleicos mediante una estructura académica que favorece la interacción de grupos de excelencia y resalta el carácter genérico de la biotecnología y su potencialidad de aplicación multisectorial. La vinculación del Instituto con el sector industrial se rige por su concepción del papel de la Universidad: producir conocimientos y estar abierta al interés de la industria para codesarrollar tecnología competitiva. Los investigadores del Instituto esperan que la industria se acerque a la Universidad y le plantee problemas, pero el papel de la institución no debe ser pasivo.

### Conclusiones de los estudios de caso

1. En general, la creación de los centros de investigación en biotecnología se debe a la iniciativa de investigadores influyentes, no a una política expresa de desarrollo de esa disciplina en el país.

2. El DBB-Cinvestav y el Cinvestav-Irapuato nacieron primordialmente como centros de investigación tecnológica. Sin embargo, encontraron dificultades para consolidarse alrededor de una oferta a la industria. Ello provocó la redefinición de sus funciones sustantivas a finales de los ochenta y su reorientación a la investigación básica.

3. Los principales factores que explican el fracaso en la vinculación con las empresas se pueden agrupar en tres categorías:

#### *i) Cultura tecnológica de las empresas*

a] La presencia de una dirección de tipo familiar en gran parte de las empresas potencialmente usuarias de la biotecnología, la cual determina estilos de negociación y contratación de servicios casi siempre poco profesionales y sujetos a la voluntad de los dueños, más que a las opiniones de los departamentos técnicos de la empresa (cuando existen).

b] Ausencia de investigación y desarrollo, sobre todo mediante departamentos formales o técnicos con ingenieros entrenados e informados que pudieran ser interlocutores de los centros de investigación.

c] Nula oferta de trabajo para los recursos humanos jóvenes, muy calificados y con la experiencia de investigación que ofrecen los posgraduados.

d] Falta de capacidad para externar sus demandas a los centros de investigación y contribuir a estructurar el medio científico y tecnológico alrededor de sus requerimientos.

e] Escasa tradición de financiar proyectos de desarrollo tecnológico de largo plazo.

f] Poca capacidad para aquilatar el potencial productivo de la biotecnología y entender la naturaleza de los desarrollos que un centro de investigación puede ofrecer a la industria: investigación de calidad y con potencial productivo, pero no paquetes tecnológicos ni productos probados y con mercado.

*ii) Integración del medio científico y tecnológico nacional*, en especial la ausencia de estructuras y organismos de interfase entre la oferta y la demanda de conocimientos científicos y tecnológicos para facilitar la comunicación y el reconocimiento mutuo entre productores y usuarios de los mismos.

*iii) Naturaleza aún fluida de la biotecnología*. Este elemento pesa particularmente en el Cinvestav-Irapuato y el Instituto de Biología de la UNAM, que se dedican a la biotecnología más nueva o de tercera generación, la cual implica desarrollos en ingeniería genética. A ésta se le desconoce casi por completo entre los usuarios potenciales, lo que agrava los problemas de expresión de la demanda, retroalimentación de la investigación con datos externos (como necesidades y prioridades) y el reco-



*na empresa alimentaria que concentra 70% de la producción de mermelada del país deseaba producir plántula de fresa libre de virus para transferirla a los agricultores y establecer compromisos de producción y venta a cambio de asesoría técnica. Se acercó a la Unidad y logramos desarrollar una tecnología más barata y mejor que la disponible en el mercado internacional. Le comunicamos que tenía que establecer un laboratorio de producción y nos pidió que produjéramos la plántula en grandes extensiones. La operación se canceló porque la empresa decidió no invertir en la creación del laboratorio para producirla y el Centro decidió que no se abocaría a tareas de producción*

nocimiento del potencial productivo de los nuevos conocimientos. El DBB-Cinvestav, sin embargo, encontró un medio más estructurado para sus desarrollos biotecnológicos de segunda generación y tuvo más éxito en sortear esas limitaciones.

4. La ausencia de demanda de los usuarios potenciales no fue el único factor que determinó que los centros analizados cambiaran de giro: de la investigación tecnológica a la básica. También contribuyeron de manera notable las principales medidas de política científica de mediados de los ochenta y principios de los noventa para estimular el trabajo académico y la producción científica universitaria, en especial los criterios del Sistema Nacional de Investigadores y del “nuevo Conacyt” para definir el trabajo académico de excelencia (publicaciones en revistas internacionales, citas de los trabajos y número de doctores por institución) y la negativa de establecer áreas prioritarias de investigación. En este sentido, el cambio instrumentado en los centros es una respuesta estratégica a las restricciones impuestas por las fuentes nacionales de financiamiento de la investigación.

5. Los investigadores suelen valorar muy positivamente los esfuerzos iniciales de los centros para desarrollar tecnologías y vincularse al sector productivo. Ello propició un proceso de aprendizaje intenso, a menudo doloroso, cuyo principal resul-

tado fue reconocer que es insuficiente el “empuje” de la oferta de ciencia para promover el desarrollo tecnológico si el medio no puede proporcionar un adecuado “arrastre” de la demanda. En este sentido, consideran que la reorientación a la investigación básica y original de alta calidad puede dimensionar sus funciones de manera correcta y coherente con respecto al proceso innovativo, dadas las limitaciones del medio.

6. La disposición de fuentes de financiamiento más o menos dignas para la investigación ha disminuido la presión de los centros para vincularse con las empresas, lo que les ha permitido ser más exigentes y selectivos en los contratos que con ellas suscriben. Asimismo, se reconoce que, en general, los proyectos de investigación abordan temas relevantes para el país, pero ya no orientados por las supuestas necesidades de las empresas, sino como investigación básica que eventualmente contribuye a resolver problemas que planteen los usuarios de la biotecnología.

### **Comentarios finales**

El aumento de la investigación científica en la biotecnología contemporánea se debe en gran parte a sus posibilidades de aplicación productiva, por lo que tiende a convertirse en una

especie de nueva ciencia industrial. Su desarrollo sostenido depende en buena medida de la capacidad del medio para transformar conocimientos científicos en tecnológicos. Ello requiere adoptar una perspectiva diferente frente a la investigación y la creación de nuevas capacidades científicas que permitan desarrollar e integrar piezas heterogéneas del conocimiento y nuevas y viejas tecnologías. Sin embargo, ello es imposible si el medio no brinda los incentivos necesarios para que los científicos y la industria adapten mutuamente sus competencias e intereses y desarrollen formas de colaboración.

El estudio del sistema científico en los países desarrollados señala que sus principales aportes a la innovación han sido, por un lado, generar conocimientos de frontera mediante la investigación y, por otro, ofrecer personal muy calificado y entrenar investigadores para la industria. En el caso de la biotecnología este último elemento cobra creciente importancia. La industrialización de la biotecnología provoca no sólo una fuerte participación de la comunidad científica en actividades innovativas, sino también de la industria en la investigación y la producción científica.<sup>24</sup>

El análisis de los casos presentados muestra que las medidas recientes de política científica y tecnológica en México han ayudado a que los centros de investigación cumplan con las funciones señaladas. Sin embargo, esas medidas parecen ser insuficientes, a veces contradictorias, para estimular la innovación biotecnológica en el país.

Al adoptar las publicaciones internacionales como uno de los principales criterios para evaluar el resultado de las investigaciones; financiar programas y proyectos, y mejorar el ingreso de los investigadores, la política científica da lugar a que los centros e investigadores se orienten a los temas de mayor interés y actualidad para los países centrales. Si bien ello puede integrar a los investigadores nacionales a una comunidad científica más amplia y desarrollada, capaz de producir los estímulos y la retroalimentación necesarios para generar investigación de punta en biotecnología, también puede provocar que el aumento en número e intensidad de los nexos con organismos internacionales de diversa índole sea un mecanismo de enajenación de los centros respecto a realidad nacional. Tal política puede propiciar un círculo virtuoso de la investigación básica sobre temas relevantes para los países de mayor dinamismo científico, pero no necesariamente para las necesidades del sector productivo nacional.

Por otra parte, cuando se suma a los criterios señalados la negativa de fijar prioridades de investigación, se radicalizan las tendencias anteriores, los organismos encargados de la política científica se convierten en gestores de formas vacías de contenido y se genera una tendencia que vincula el Subsistema Na-

cional de Biotecnología a un sistema de innovación internacional, no al nacional. Ello puede dañar la integración del Subsistema señalado y la vinculación eficiente entre universidad e industria, componente estratégico de la innovación en una ciencia con creciente carácter industrial, como la biotecnología.

El éxito del proceso innovativo en biotecnología, al igual que el de otras disciplinas, no atañe sólo a los centros de investigación, en cuanto oferentes de ciencia básica aplicable o tecnología potencialmente utilizable, sino también a un gran número de agentes que actúan en un marco institucional definido y participan en la definición y la resolución de problemas vinculados a la actividad en cuestión.


Las diferencias y complementariedades entre ciencia y tecnología determinan que la estructura institucional que soporta la actividad innovativa en un país o en un campo específico sea muy compleja. El concepto de Sistema Nacional de Innovación resulta de suma utilidad útil para encuadrar el comportamiento de los agentes y analizar la coherencia entre las estructuras institucionales en torno a la actividad innovativa. También es útil para perfilar una política tecnológica nacional.

La red de instituciones del Subsistema Nacional de Biotecnología es incipiente y dispersa, muy asimétrica y con una conectividad débil. Sus polos tecnointustrial y mercantil están ausentes o poco desarrollados, por lo cual constituyen una red incompleta.

Las empresas nacionales parecen ser el eslabón más débil de la cadena, pues no poseen equipos técnicos que posibiliten una comunicación eficaz con los centros de investigación. Otra fisura del sistema son los organismos de interfase, problema que se acentúa debido a que los pocos servicios de información técnica no los aprovechan cabalmente las empresas.

El fortalecimiento de los centros de investigación de excelencia y la promoción de la investigación de alta calidad son premisas fundamentales para la transferencia eficiente del conocimiento científico a la industria. Se aprovecharía así la "ventana de oportunidad" que ofrece el desarrollo temprano de la biotecnología y su estado aún fluido para consolidar trayectorias tecnológicas acordes con la realidad socioeconómica nacional.

La desarticulación entre los centros de investigación biotecnológica de excelencia y la industria puede cerrar dicha "ventana". Revertir esa tendencia depende de la capacidad para fortalecer eslabones más débiles del Sistema Nacional de Innovación y crear mecanismos de interacción y retroalimentación positiva de éstos.

Los gobiernos federal y estatales mucho pueden contribuir a articular dicho Sistema con base en una política de ciencia y tecnología que tome más en cuenta la realidad nacional y sea coherente con la naturaleza del proceso innovativo. 

24. Luigi Orsenigo, *The Emergence of Biotechnology*, Printer Publishers, Londres, 1989.