

**UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-
XOCHIMILCO**

**MAESTRIA EN ECONOMIA Y GESTION DEL CAMBIO
TECNOLOGICO**

**"SELECCION DE PRODUCTOS BIOTECNOLOGICOS DEL AREA DE LA
SALUD DURANTE EL PROCESO DE I-D DE UN CENTRO DINAMIZADOR
DE LA BIOTECNOLOGIA EN MEXICO".**

REPORTE DE INVESTIGACION

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN ECONOMÍA Y GESTIÓN DEL CAMBIO
TECNOLÓGICO**

PRESENTA

JUAN CARLOS VILLA SOTO

MEXICO, D.F.

ENERO 1995

A los profesores:

**M.en C. Alejandro Azaola
Maestro Mario Capdevielle A.
M. en C. Javier Flores
M. en C. Rogelio López Torres
Maestro Alexandre Oliveira**

**Les expreso mi agradecimiento por sus comentarios durante la revisión
del presente trabajo.**

**Agradezco al personal académico del Instituto de Biotecnología de la
UNAM las facilidades otorgadas para el acopio de la información requerida..**

**La realización de este estudio contó con el apoyo del Programa Afines (1993) y
del Departamento de Publicaciones (1994) de la División de Estudios de
Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina de la UNAM, así como
del Departamento de Producción Económica de la Universidad Autónoma
Metropolitana Xochimilco (1994)**

Indice

Resumen	3
I. Introducción	4
II. La bioindustria en el sector farmacéutico.	8
II.1. Campos de actividad de la biotecnología.	8
II.2. Estructura de la industria farmacéutica	11
II.3. Orientación de la I-D en la industria farmacéutica	14
II.4. Descenso en el ritmo de la innovación en el sector farmacéutico	16
II.5. Las empresas transnacionales en el emergente mercado biotecnológico	18
II.6. Oportunidades de la I-D en biotecnología en el área de la salud	20
II.7. La biotecnología en la industria farmacéutica	21
II.8. La industria biotecnológica en los países en desarrollo.	23
II.9. La bioindustria en México.	25
III. Marco conceptual	27
III. 1. El papel de la oferta y la demanda en el proceso innovativo	27
III. 2. Concepción paradigmática del conocimiento tecnológico	31
IV. Metodología	37
V. Resultados	39
V. 1. El complejo institucional	39
V. 2. Campos de actividad dominantes en el IBT	45
V. 3. Catalizadores de la producción científica y tecnológica	48
V. 4. El patrón de morbi-mortalidad y la orientación de la investigación en el IBT	59
V. 5. El proceso de selección de los campos de actividad.	67
VI. Conclusión	69
VII. Bibliografía	78

Resumen

El propósito de este estudio es analizar el proceso de selección de campos de actividad de la biotecnología, en el área de la salud, durante la investigación y desarrollo de un centro dinamizador de la biotecnología en México. Este análisis se centra en el proceso de justificación temática de la actividad científica y tecnológica. El abordaje de este estudio se inspira en los conceptos evolucionistas de adaptación/aprendizaje. El análisis evolucionista ha sido explorado en el estudio de la dinámica del cambio tecnológico y económico. Una de las premisas de esta concepción es que el desarrollo de la tecnología en el tiempo involucra elementos aleatorios; pero también mecanismos que sistemáticamente afectan la dirección del cambio técnico. Este enfoque se deriva de una concepción paradigmática del conocimiento tecnológico. En este estudio se establecen dos hipótesis de trabajo que se derivan de las conclusiones de un estudio sobre la dinámica de la innovación tecnológica en el sector de los medicamentos antibacterianos: 1) Las innovaciones, definido como el éxito comercial de un producto en una determinada trayectoria tecnológica, tendrán un efecto orientador y actuarán como un poderoso catalizador del dinamismo de la investigación científica y tecnológica de la unidad de investigación estudiada. Esto puede conducir a un proceso de especialización en esta unidad; y 2) Si se considera al patrón de morbilidad y de mortalidad como un elemento de la fuerza de la demanda, se espera que la investigación de nuevos medicamentos de base biotecnológica esté orientada hacia las categorías terapéuticas que definen el patrón de morbi-mortalidad del país, aunque en el dominio de un número restringido de campos de actividad (pruebas de diagnóstico y vacunas, por ejemplo).

Los resultados sugieren que la selección de campos de actividad específicos está condicionado por el cambio técnico (surgimiento y explotación de nuevas técnicas de la investigación biotecnológica) y que permite generar conocimiento original en un amplio horizonte temático. Los resultados también indican que la relativa autonomía del desarrollo científico y tecnológico con respecto a las fuerzas sociales y su estructura de incentivos se cumple en la naturaleza acumulativa del conocimiento y en el azar que interviene en el descubrimiento de nuevas técnicas y herramientas de investigación durante el propio proceso de acumulación científica y tecnológica.

I. Introducción.

La alta concentración y transnacionalización de la industria farmacéutica ha ocasionado que exista una producción de medicamentos inadecuada al patrón de morbilidad de los países no industrializados, en términos de cantidad, calidad y de precios. A pesar de que los principales moléculas de interés terapéutico se descubrieron hace más de 20 años y de que se ha atemperado el ritmo de las innovaciones en este sector, las grandes empresas líderes han logrado ampliar el horizonte de sus rentas monopólicas con base en el control de la tecnología y en una elevada diferenciación de los productos. Esta diferenciación, vía las marcas registradas, carece de importancia terapéutica, pero les permite ejercer un gran control del mercado. Es muy difícil modificar la estructura oligopólica de los submercados de la industria farmacéutica ante la existencia de importantes barreras de mercado, tales como el control de la tecnología, la diferenciación con productos de marca y los elevados gastos de promoción y publicidad que acompaña a esta diferenciación. Se ha señalado que la posibilidad de que las empresas nacionales pudieran tener una mayor participación en el mercado depende, entre otros aspectos, del desarrollo tecnológico endógeno; específicamente se ha señalado la necesidad de que exista un decidido apoyo a la investigación y desarrollo tecnológico que apoye directamente a las empresas nacionales.

El desarrollo aún incipiente de la moderna biotecnología ha generado expectativas en varios países en desarrollo respecto de las posibilidades de participar en nuevos mercados de la bioindustria, incluyendo al sector farmacéutico. Uno de los factores asociados a esta oportunidad es el aprovechamiento por parte de las empresas nacionales de las capacidades científicas y tecnológicas de los centros dinamizadores de la biotecnología, que fundamentalmente son instituciones públicas abocadas a la investigación científica.

Algunos estudios sugieren que en estos países no existe conexión entre los esfuerzos de investigación científica y tecnológica con relación a los mercados. Esta desarticulación puede significar un desaprovechamiento de las capacidades científicas del país y/o un desarrollo tecnológico al margen de las señales del mercado.

Si se pretende impulsar el desarrollo de nuevas empresas biotecnológicas en el país a través del aprovechamiento de la ciencia y la tecnología ya existentes es indispensable analizar la lógica del comportamiento de los centros de investigación públicos.

La generación de tecnología --que es crucial en el proceso de innovación-- se ha desarrollado en forma discontinua y aislada en el seno de la universidad pública. La desarticulación entre los esfuerzos de investigación científica y tecnológica en esta área con respecto a los mercados es un problema que no ha sido superado a pesar de la existencia de

instancias de gestión tecnológica. Se ha señalado que la desvinculación obedece esencialmente a las diferencias en los objetivos sociales de la universidad y la industria. Estos objetivos definen las políticas explícitas e implícitas, el enfoque y los criterios para evaluar las actividades: la originalidad, por ejemplo, es crucial en el quehacer académico, pero no es tan relevante en la innovación, sujeta primordialmente a la conveniencia económica.

Sin embargo, esta desarticulación entre la investigación y los mercados también puede ser explicada por la existencia de una oferta tecnológica que se desarrolla al margen del proceso competitivo de la industria. El tema central de este estudio se enfoca precisamente sobre este último aspecto.

El propósito de esta investigación es analizar el proceso de selección de campos de actividad de la biotecnología, en el área de la salud, que ocurre en la investigación y desarrollo de un centro dinamizador de la biotecnología en México. Este análisis se centra en el proceso de justificación temática de la actividad científica y tecnológica. La comprensión del proceso de selección de campos de actividad biotecnológica constituye una guía para entender la dinámica del desarrollo tecnológico dentro de las "pautas legitimadas del quehacer académico", así como la naturaleza de la articulación de este desarrollo tecnológico con el proceso innovativo, en aquellos casos en que existe esta conexión. Este último aspecto está relacionado estrictamente con el aprovechamiento por parte de la industria de las capacidades científicas y tecnológicas de los centros de investigación para que nuevos productos lleguen al mercado.

En el capítulo dos de este trabajo se presenta una descripción general de la industria farmacéutica, haciendo hincapié en la orientación de la investigación y desarrollo en esta industria, así como en el fenómeno de la disminución del ritmo de las innovaciones y en la respuesta de las grandes empresas ante la amenaza de reestructuración de la industria por la emergencia del nuevo paradigma tecnoeconómico asociado a la biotecnología. Asimismo se examina la oportunidad que tienen los países de menor desarrollo de participar en los nuevos mercados. Aunque este no es el tema central del estudio se justifica su inclusión debido a que no se puede soslayar que la exigua demanda tecnológica local por parte de las empresas farmacéuticas también puede estar asociada a las características de la estructura industrial y de mercado de este sector.

En el capítulo tres se presenta el marco conceptual de esta investigación. El abordaje de este estudio se inspira en los conceptos evolucionistas de adaptación/aprendizaje por su gran utilidad para entender la naturaleza del proceso de selección de los campos de actividad específicos. El análisis evolucionista ha sido explorado en el estudio de la dinámica del cambio tecnológico y económico. Una de las premisas de esta concepción es que el

desarrollo de la tecnología en el tiempo involucra elementos aleatorios; pero también mecanismos que sistemáticamente afectan la dirección del cambio técnico. Este enfoque se deriva de una concepción paradigmática del conocimiento tecnológico. Como antecedente de este enfoque se describen algunas de las principales interpretaciones teóricas del proceso innovativo, particularmente los modelos basados en el "empuje" de la oferta y en el "arrastre" de la demanda. Posteriormente se analiza la concepción paradigmática de la tecnología que contribuye a resolver el debate en la literatura sobre la innovación acerca de la importancia relativa de estas dos fuerzas. Este apartado concluye con la formulación de dos hipótesis de trabajo que se derivan de las conclusiones de las investigaciones sobre la dinámica de la innovación tecnológica en empresas del sector de los medicamentos antibacterianos. La pregunta fundamental que se intenta responder a través del análisis del proceso de selección de campos de actividad es si la lógica de funcionamiento de uno de los centros de investigación biotecnológica más importantes del país favorece al proceso innovativo, es decir, que se aprovechen sus capacidades científicas y tecnológicas para que nuevos productos lleguen al mercado.

En el capítulo de la metodología se establecen los criterios por los que se seleccionó al Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México para realizar este estudio empírico sobre los factores que operan en la selección de tecnologías específicas durante el proceso de I-D. Se señalan los criterios empleados para clasificar los productos científicos y tecnológicos de esta dependencia y las fuentes de donde se obtuvieron los datos.

En este estudio, que cubre el periodo de 1982 a 1990 se analizan tres posibles factores de selección de los campos de actividad que se han desarrollado en el instituto: los criterios de evaluación de la actividad científica y tecnológica; el posible rol catalítico de las innovaciones; y el patrón de morbilidad como expresión de la demanda.

El capítulo de los resultados se divide en tres apartados en donde se analizan sendos factores.

En primer lugar se analiza el complejo institucional y en especial las políticas de ciencia y de tecnología que han regulado las actividades de este Instituto. Se asume que este no se interrelaciona exclusivamente, ni siquiera preferentemente, con las empresas.

En estudios previos sobre la dinámica de la innovación tecnológica en el sector de antimicrobianos se advierte que las innovaciones tienen un efecto orientador y actúan como un poderoso catalizador del dinamismo de la investigación científica y tecnológica en trayectorias específicas. En el segundo apartado del capítulo de resultados se analiza si este proceso ha operado, o no, en el Instituto de Biotecnología.

Finalmente, en virtud de que también se ha concedido una gran importancia al patrón de morbilidad como elemento de la fuerza de la demanda, se analiza la relación entre los productos de la investigación científica y tecnológica del IBT y el patrón de morbilidad de México en el periodo de 1980 a 1990.

Los resultados de este estudio empírico, que se inscribe dentro de las reflexiones acerca de la dinámica de la innovación tecnológica, pueden ser útiles en el diseño de políticas de ciencia y tecnología conducentes a impulsar la investigación biotecnológica en México y su aprovechamiento por parte de la industria. Este reto corresponde con las expectativas que existen en los países en desarrollo de participar en nuevos mercados de la bioindustria, incluyendo al sector farmacéutico, a partir del aprovechamiento de las capacidades científicas y tecnológicas de los centros dinamizadores de la biotecnología.

La presente investigación se realizó para cubrir la totalidad de los créditos de la Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

II. La bioindustria en el sector farmacéutico.

II.1. Campos de actividad de la biotecnología.

Las tecnologías genéricas, como la biotecnología, impactan la eficiencia tecnológica y productiva de una amplia clase de sectores.¹ Este rasgo les confiere, en el contexto de la nueva economía global, un valor muy importante en la estrategia competitiva de las empresas y de los países.² El desarrollo de la biotecnología moderna ha sido aprovechado particularmente por los países altamente industrializados.³ Sin embargo, los países menos desarrollados, como México, pueden beneficiarse del desarrollo de esta tecnología emergente cuya potencialidad puede traducirse en la solución de problemas de salud, alimentación, energía y contaminación.

Se ha definido a la biotecnología como el empleo de organismos vivos, o de sus componentes, en procesos industriales, principalmente mediante la manipulación del propio material genético.

La biotecnología depende de múltiples disciplinas científicas y tecnológicas. El cuadro 1 muestra las distintas áreas del conocimiento en que se fundamentan los procesos de la bioindustria.

Por otro lado, la biotecnología depende primordialmente de insumos científicos. Su estado incipiente de desarrollo explica que su *know how* esté conformado fundamentalmente por conocimientos básicos de carácter genérico, producidos en buena medida en el seno de laboratorios públicos de investigación y desarrollo. En todo caso, las universidades han sido vitales en el surgimiento y operación de las bioindustrias.

¹ Bercovich, N. y Katz, J. (1990).

² Erns, D. y O'connor, D. (1989).

³ Avalos, G. (1990).

Cuadro 1

Ciencias básicas y procesos utilizados en biotecnología

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

Fuente: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial. La ingeniería genética en la biotecnología.

Madrid, 1982. p. 17.⁴

Otro rasgo de la biotecnología es que ofrece un espectro multifacético de aplicaciones. El cuadro 2 muestra algunos de los sectores y campos de actividad en los que puede ser aplicada.

Cuadro 2

Sectores y campos de actividad de la biotecnología.

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

Fuente: CEPAL. Tendencias recientes y perspectivas de aplicación de la biotecnología a los problemas del desarrollo de América Latina. E/CEPAL/R. 346, noviembre de 1983. p. 7.

La industria farmacéutica ha sido la primera en beneficiarse del desarrollo de la nueva biotecnología y se prevee un gran dinamismo futuro en este sector⁴. Un hecho sobresaliente de este proceso es que las grandes transnacionales farmacéuticas se han logrado ubicar en un lugar privilegiado del nuevo paradigma tecnológico. Antes de describir este hecho conviene destacar algunas características de esta industria.

II.2. Estructura de la industria farmacéutica.

Un rasgo distintivo de la industria farmacéutica es su elevada concentración tanto a nivel de países como de empresas.

Las grandes empresas de los países industrializados dominan la industria farmacéutica a nivel mundial (Cuadro 3). En 1990 el 73 % de la producción de medicamentos se realizaba en los países desarrollados con economías de mercado.⁵ Los líderes continuaban siendo los países en donde emergió primero la moderna producción farmacéutica: Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Japón, Holanda, Suecia, Suiza, Inglaterra y los Estados Unidos. En Japón se produjo el 22.3 %, en Europa Occidental el 26.9 % y en Canadá y los Estados Unidos el 22.7 %. La producción de los países latinoamericanos sólo representó el 7.9 % de la producción mundial.

Uno de los principales rasgos de esta industria es su transnacionalización; estas compañías operan como grandes transnacionales tanto en los países industrializados como en los no industrializados. Se estima que el comercio internacional de medicamentos opera fundamentalmente a través del patrón matriz-filial.⁶

La participación de las empresas farmacéuticas transnacionales en el mercado latinoamericano es mayor que en los países industrializados. En 1985, la participación de las empresas transnacionales en México representó el 84 por ciento. Existe una gran diferencia en el valor de las ventas entre las grandes empresas transnacionales y las de capital local. Las diez empresas transnacionales más grandes en latinoamérica ocupan el 24 % del mercado con un promedio de ventas por compañía de 101 millones de dólares. En contraste las diez empresas más grandes con capital de la región sólo controlan el 9 % del mercado, con un promedio de ventas de 38 millones de dólares (1.6 veces menos).⁷

⁴ Quintero, R. (1991).

⁵ Ballance, R, Pogány, J. y Forstner, H. (1992)

⁶ Molina, R. y Rivas, J.F. (1992)

⁷ *Ibid*

Cuadro 3

**Distribución mundial y crecimiento de la producción de preparaciones farmacéuticas,
1975-90**

<i>Grupo de países</i>	<i>Porcentaje de la producción total mundial.</i>		<i>Tasa de crecimiento (%)</i>
	1975	1990	1975-1990
Europa del Este y URSS	10.2	8.6	4.0
Países desarrollados con economías de mercado	67.2	73.0	5.8
Norteamérica	20.4	22.7	5.9
Comunidad Europea	28.6	24.3	4.1
Otros Europa	2.7	2.6	5.0
Japón	14.2	22.3	8.4
Otros	1.3	1.1	4.1
Países en desarrollo	22.6	18.4	3.8
Latinoamérica	10.0	7.9	3.5
Norte Africa	0.5	0.4	3.6
Otros Africa	0.8	0.4	0.9
Sur y Este Asia	3.6	4.9	7.3
China	5.6	3.5	2.1
Otros	2.1	1.3	1.8
Total	100.0	100.0	5.2
Producción mundial total (billones \$US constantes 1980=100)	70.1	150.3	

Fuente: ONUDI

En la industria farmacéutica, la inversión extranjera directa representa, en promedio, un control de la propiedad superior al 75 %. Este control facilita a la matriz implementar sus estrategias de operación.

La concentración de esta industria parece ser baja cuando se realizan estimaciones basadas en el mercado global de los productos farmacéuticos. Se ha señalado, p. ej. que cerca de 200 empresas (2 % de las 10 000 empresas farmacéuticas que existen a nivel mundial) producen el 87 % de la producción global. Esta no parece ser, sin embargo, una industria tan concentrada si se le compara, por ejemplo, con la industria automotriz. Es necesario estimar la concentración de la industria farmacéutica con base en indicadores complementarios. Es poco conveniente las estimaciones agregadas debido a que no es correcto vincular antibióticos con vitaminas, por ejemplo, porque no son cercanos substitutos en términos terapéuticos. Las empresas transnacionales han recurrido a la especialización en uno o varios submercados. La gran segmentación del mercado ha permitido que en México, por ejemplo, el 64 % de los 300 productos que más se venden cubran cada uno de ellos más del 40 % de sus respectivos submercados. Hay especialidades como la insulina de Lilly en la que esta participación alcanza el 100 % del mercado⁸.

La industria farmacéutica tiene una estructura de mercado oligopólica y está dominada por empresas transnacionales cuyas principales estrategias de operación consisten en el control tecnológico y en la diferenciación extrema de los productos. La enorme diferenciación ha permitido a las grandes corporaciones extranjeras obtener amplios márgenes de beneficios al establecerse una competencia ajena al precio. Las patentes y en especial la marca registrada (ambos instrumentos legales de registro y apoyo a la propiedad industrial) han permitido extender el horizonte de las rentas monopólicas de los medicamentos.

La producción de medicamentos que requiere el Sector Salud ha quedado supeditada al exterior, en lo que se refiere a la tecnología, debido al elevado control de la industria por la inversión extranjera directa. Algunos autores coinciden en señalar que esta dependencia ha ocasionado una producción de medicamentos inadecuada al patrón de morbilidad del país en términos de calidad y precio.⁹

⁸ Molina, R y Rivas, J.F. (1992)

⁹ *Ibid.*

II.3. Orientación de la I-D en la industria farmacéutica

En un estudio reciente se indica que la industria farmacéutica de los Estados Unidos está dirigiendo sus actividades de investigación clínica hacia áreas terapéuticas en las cuales es mayor la necesidad de innovaciones y de nuevos tratamientos médicos: enfermedades cardiovasculares, del sistema nervioso central, cáncer y sida.¹⁰

Esta tendencia, observada en los países industrializados, ha conducido a una producción de medicamentos que no necesariamente es adecuada al patrón de morbilidad de los países no industrializados.^{11, 12}

Esta orientación de la I-D en la industria farmacéutica puede estar relacionada con las diferencias internacionales en las estructuras de los mercados. La respuesta a ciertas necesidades de salud, a través de nuevos productos, puede representar en el mercado estadounidense una oportunidad de negocios, aún enfrentado altos costos de I-D, si se considera que existen altos niveles de ingresos en la población. En todo caso, la innovación en la industria farmacéutica estará siendo definida por el patrón de morbi-mortalidad de los países industrializados. Correa¹³, advierte que la I-D realizada en las naciones desarrolladas no considera la mayoría de las aplicaciones urgentes y promisorias de la biotecnología para el cuidado de la salud en los países en desarrollo. Este autor afirma que debido a que las líneas de I-D se definen por su rentabilidad esperada, ella se concentra en los mercados más lucrativos, como los de los medicamentos para las enfermedades crónicas y degenerativas que prevalecen en el Hemisferio Norte.¹⁴

Adicionalmente, son reducidos los esfuerzos para atacar las enfermedades endémicas que afectan a una inmensa parte de la población de los países en desarrollo, como el cólera, la fiebre tifoidea y la disentería amibiana, que en conjunto ocasionan cerca de 20 millones de muertes al año. El suministro ineficiente de medicamentos hacia los

¹⁰ Kaitin, K. Bryant, N and Lasagna, L. (1993).

¹¹ Molina R. y Rivas, J.F. (1992)

¹² Correa, C.M. (1992).

¹³ Correa, C.M. (1988).

¹⁴ Un ejemplo de la orientación dominante de la I-D es el frustrado proyecto de desarrollo de una vacuna contra la malaria por parte de la Universidad de Nueva York y la empresa Genentech, con el apoyo de la OMS y la Agencia Internacional para el Desarrollo de Estados Unidos. Este proyecto se abandonó por falta de financiamiento. Correa, C.M. (1989).

países menos desarrollados se agudiza debido a que las empresas farmacéuticas transnacionales introducen medicamentos con especificaciones propias de los países industrializados.¹⁵

Además de que la producción de medicamentos por las empresas transnacionales es inadecuada al patrón de morbilidad de los países no industrializados, en términos de cantidad, calidad y de precios, se presume que es muy elevada la compra inapropiada de medicamentos en estos países; esto se atribuye, entre otros factores a la falta de servicios adecuados de salud y a la presión de las estrategias de mercadotecnia de las empresas transnacionales¹¹. Bercovich y Katz¹ señalan que mientras que en Inglaterra menos del 25 % de los medicamentos no requiere prescripción médica para su venta, en algunos países no industrializados más del 75 % de los medicamentos se venden sin este requisito.¹⁶

Uno de los efectos del uso inapropiado de medicamentos, en especial de los antibióticos, es que están perdiendo efectividad al propiciar el desarrollo de bacterias resistentes a los fármacos. La Sociedad Estadounidense de Microbiología ha declarado que enfermedades como tuberculosis, neumonía, meningitis, gonorrea y envenenamiento por alimentos ya no pueden ser tratadas efectivamente por una amplia serie de medicamentos.^{17, 18} Esto último sugiere que es necesario que se diseñen medicamentos más eficaces para este tipo de padecimientos.

¹⁵Se afirma que la alimentación, el clima e incluso la cultura modifican la efectividad de un fármaco en distintos países. En México, por ejemplo, el consumo de tortillas hace que la cantidad de calcio en el organismo sea muy alta. Esto adquiere relevancia si se toma en cuenta que para que algunos medicamentos sean activos requieren la presencia en el organismo de ciertos iones, mientras que otros se desactivan al entrar en contacto con ellos. Villa-Soto, J.C. (1991)

¹⁶ La Organización Panamericana de la Salud ha estimado que la dipirona fue el medicamento de mayor venta en Latinoamérica en la década de los ochenta. Desde 1982 la dipirona ya no encontraba registrada en Inglaterra, los Estados Unidos y Alemania Federal debido a sus efectos colaterales, pero ésta continuaba siendo vendida ampliamente en los países latinoamericanos. Para 1988, el nivel de las ventas de la dipirona en México ubicaba a esta sustancia en el segundo lugar de ventas, bajo una sola presentación, con ventas superiores a los 17 millones de dólares anuales.

¹⁷ Reuter (1993)

¹⁸ Amábile, C. (1988).

II.4. Descenso en el ritmo de la innovación en el sector farmacéutico.

La hegemonía de las empresas transnacionales también se refleja en el control que ejercen en el proceso de innovación. Un rasgo distintivo de la industria farmacéutica es su elevado gasto en investigación y desarrollo en productos básicos. Esta actividad se realiza, casi exclusivamente, por las grandes empresas transnacionales. En el periodo de 1976 a 1985, de las 541 Entidades Químicas Nuevas (EQN) introducidas en el mercado mundial, el 90 % de ellas fueron realizadas por los grandes países productores de medicamentos. Los Estados Unidos aportaron el 24.4 % de las EQN en este periodo, seguidos por Japón y Alemania Federal con un 17 %. (Cuadro 4).

Cuadro 4.

**Entidades químicas nuevas introducidas en los mercados mundiales,
1976-1985.**

Estados Unidos	132
Japón	93
Alemania Federal	91
Italia	59
Francia	49
Suiza	37
Inglaterra	25
Países Bajos	19
Bélgica	7
Austria	2
Otros países	6
Países del Este	21
Total	541

Fuente: SCRIP, Yearbook 1988, Surrey, PJB Pub, Richmond, 1988

No obstante que las grandes empresas farmacéuticas destinan en promedio, cerca del 10 por ciento del valor de sus ventas a inversiones de I-D para el descubrimiento de EQN y de que se ha incrementado el número de investigaciones de nuevas drogas (en los Estados Unidos se incrementó en 46 puntos porcentuales de 1976 a 1989), se ha registrado desde hace dos décadas un fenómeno muy interesante en el proceso de innovación: se ha atemperado el ritmo de la innovación de nuevos ingredientes activos en la industria químico-farmacéutica.¹⁹ De 1950 a 1983 decreció en 62.26 por ciento la producción de nuevas drogas que mostraron un avance terapéutico preciso (el número de medicamentos nuevos pasó de 326 en 1950 a 123 en 1983 en los Estados Unidos).²⁰

El descenso en el ritmo de las innovaciones se explica por reglamentaciones más estrictas y por un aumento en los costos de las innovaciones²¹, que se convirtieron en importantes barreras a la entrada. En 1962 se introdujeron cambios en la legislación norteamericana que regula la investigación farmacéutica (enmienda Kefauver-Harris); a la exigencia de demostrar la seguridad de una nueva droga se agregó la de demostrar su eficacia. Después de la enmienda se multiplicó por cuatro el tiempo transcurrido entre el descubrimiento de una nueva molécula y su llegada al mercado.²² Este efecto sobre el ritmo de las innovaciones no sólo se registró en los Estados Unidos. En Inglaterra el tiempo de desarrollo de un nuevo medicamento se incrementó de 3 a 10 años. En relación a los costos, DiMasi (citado en Kaitin, et al²³) reportó que en la industria farmacéutica de los E.U. tomó 12 años y 231 millones de dólares (1978=100) el desarrollo de una nueva droga, desde el momento de la síntesis hasta ser aprobada por la *Food and Drugs Administration (FDA)*. Bercovich y Katz²⁴ afirman que el costo necesario para colocar un nuevo fármaco en el mercado se quintuplicó entre 1960 y 1975 y se duplicó entre 1975 y fines de los ochenta. Estos autores advierten que en 1983 sólo se introdujeron seis nuevas drogas ante un promedio de 18 nuevos fármacos lanzados anualmente al mercado estadounidense durante el periodo 1961 a 1980. Por su parte Molina y Rivas²⁵ señalan que sólo una de cinco drogas que llegan a probarse en sujetos humanos completa la fase de desarrollo clínico y recibe la aprobación de la FDA.

¹⁹ Bercovich, N. y Katz, J. (1990)

²⁰ Kaitin, K., Bryant, N. and Lasagna, L. (1993)

²¹ Correa, C.M. (1989)

²² Bercovich, N. y Katz, J. (1990)

²³ Kaitin, K., Bryant, N. and Lasagna, L. (1993)

²⁴ Bercovich, N. *op. cit.*

²⁵ Molina, R. y Rivas, J.F. (1992)

Bercovich y Katz²⁶ afirman que el número de fracasos ocurridos a lo largo de la fase de desarrollo ha crecido exponencialmente. Los recientes estudios de Kaitin, *et al*²⁷ muestran que algunas categorías terapéuticas han sido más sensibles a estos cambios: sólo el 10 por ciento de las nuevas entidades químicas aprobadas de 1976 a 1990 correspondieron al tratamiento de enfermedades del sistema nervioso central. Es importante advertir que los datos examinados en ese estudio no incluyen información sobre el crecimiento de productos derivados de la biotecnología. Esta advertencia es muy importante; toda vez que a la descripción del ritmo de la innovación en la industria químico-farmacéutica se puede asociar la trayectoria de una dimensión particular del conocimiento científico y tecnológico.

Se ha señalado que el declive en la producción de nuevas moléculas de interés terapéutico también está asociado a un agotamiento de los procesos clásicos de síntesis química a partir del diseño racional de nuevas drogas.²⁸

No obstante los avances en el conocimiento de la estructura y acción de los microorganismos patógenos y de los mecanismos de acción de los medicamentos el descubrimiento de una nueva droga sigue basándose, en última instancia, en el examen más o menos aleatorio de moléculas para detectar posibles efectos farmacológicos, lo que supone la persistencia de un gran factor de azar, baja eficiencia y altos costos de I-D.¹

II.5. Las empresas transnacionales en el emergente mercado biotecnológico.

¿Hasta qué punto la desaceleración de la tasa de innovación constituye una amenaza para la posición hegemónica del oligopolio farmacéutico?

Molina y Rivas²⁹ advierten que el descenso en el ritmo de la innovación en la industria farmacéutica no se ha traducido en una disminución significativa de las ganancias de las corporaciones transnacionales. La marca registrada ha sido una estrategia para alargar el ciclo de sus ventas monopólicas. Se estima que para 700 sales básicas se tienen registradas más de 20 mil marcas en los Estados Unidos. En México se registran más de 16 mil marcas. Esto se aplica tanto a productos con tecnologías maduras (antibióticos)

²⁶ Bercovich, N. *op. cit.*

²⁷ Kaitin, K. *op. cit.*

²⁸ Se afirma que actualmente es necesario sintetizar en promedio unos 7 mil compuestos orgánicos antes de aislar un producto con valor farmacológico.

²⁹ Molina, R. y Rivas, J.F. (1992).

como a nuevos productos. Las empresas han encontrado en la diferenciación de productos una política que les permite aplicar nuevos precios a "nuevos" productos farmacéuticos.

Lo anterior sugiere que han disminuido los incentivos económicos para innovar (al enfrentarse mayores costos y reglamentaciones más estrictas) y que esto se ha acentuado debido a que es posible ampliar el horizonte de rentas monopólicas de productos que han llegado a su fase de maduración a través del uso de marcas registradas y a la diferenciación espuria. Es posible que el éxito comercial de las empresas farmacéuticas transnacionales en los países no industrializados no se basen en una combinación imaginativa de nuevas posibilidades técnicas.

No obstante la relativa importancia de la I-D y de las innovaciones en las grandes empresas, se pronosticó que el desarrollo de la biotecnología tendría un enorme potencial desestabilizador de estructuras oligopólicas en varias industrias ante la emergencia de nuevos competidores que pueden introducir innovaciones radicales en este campo. Se llegó a asegurar que la industria químico-farmacéutica, la primera en beneficiarse de la nueva tecnología, experimentaría una transformación en su estructura de poder y en la posición de los grandes países productores y de las principales empresas. Sin embargo, las grandes empresas farmacéuticas reaccionaron con rapidez, con base en una estrategia múltiple, ante el reto de la posible competencia de nuevos productos o de nuevos procesos: a) control de los activos de las pequeñas empresas especializadas; b) creación de capacidades propias de I-D; c) financiamiento de las actividades de investigación de las empresas especializadas en biotecnología; d) cesión de derechos de comercialización de las empresas especializadas a las grandes empresas por imposibilidad de formar equipos de ventas y redes de comercialización. En este sentido las alianzas estratégicas se han convertido en un rasgo característico de las actuales formas de competencia en los sectores de "alta tecnología". Las alianzas en el área de biotecnología aplicada a los productos farmacéuticos revelan un modelo asociativo entre empresas especializadas de Estados Unidos, por un lado, y transnacionales estadounidenses, japonesas o europeas. Los acuerdos permiten a las transnacionales reducir riesgos y acercarse a la frontera de la innovación sin necesidad de crear estructuras propias; además aseguran un ingreso más rápido en nuevos mercados; y e) financiamiento de la investigación biotecnológica en Universidades.^{30, 31, 32}

³⁰ Correa, C.M. (1989).

³¹ Quintero, R. (1991).

³² Maldonado, K. (1988)

Quintero³³ advierte que la capacidad de reacción y de reacomodo sectorial de las empresas transnacionales, y su poder de comercialización y financiero parecen reservar un papel central en la explotación del emergente mercado biotecnológico. Según este autor es factible que a finales del siglo, los grandes grupos que controlan actualmente los mercados químicos y farmacéuticos tradicionales se conviertan en potentes compañías bioindustriales. Se prevé que los altos niveles de concentración de la industria químico-farmacéutica a nivel internacional se acentúe con esta transformación.

II.6. Oportunidades de la I-D en biotecnología en el área de la salud.

¿Qué alternativas ofrece la biotecnología a la I-D en el área de la salud?

Desde hace muchos años el sector farmacéutico recurre a procesos biotecnológicos. Los antibióticos y ciertas vitaminas y esteroides se fabrican por fermentación o hemisíntesis (combinación de síntesis química y fermentación). La producción de vacunas se basa en el cultivo celular o de microorganismos. Las fermentaciones fueron ganando terreno frente a los procesos clásicos de síntesis química o extractivos al ofrecer ventajas en los rendimientos obtenidos en la producción de moléculas de interés farmacológico. Estas ventajas se ampliaron a partir del mejoramiento genético de las cepas utilizadas y de la optimización de procesos (nuevos diseños de fermentadores, etcétera).

La mayoría de los nuevos productos de la biotecnología moderna tienen una aplicación en el sector salud. En este sector de aplicación existe una alta disponibilidad tecnológica y una alta necesidad de mercado.³⁴

La biotecnología ha abierto nuevos horizontes a la industria farmacéutica,^{35, 36, 37} ésta ofrece:

- a) nuevos procedimientos terapéuticos y de diagnóstico;
- b) nuevas técnicas de producción. Es posible el reemplazo de procesos de síntesis química o de métodos de extracción de tejidos por cultivos celulares o fermentaciones microbianas basados en el clonado de genes que codifican para ciertas proteínas de interés terapéutico (insulina, hormona de crecimiento humano, albúmina humana, vitaminas).

³³ Quintero, R. (1991)

³⁴ Quintero, R. (1991)

³⁵ Bercovich, N. y Katz, J. (1990)

³⁶ Avalos G., I. (1990)

³⁷ Correa, C.M. (1992)

Esto permite multiplicar enormemente la escala de producción y generalmente aumentar el grado de pureza del producto;

c) posibilidad de mejoramiento de los procesos tradicionales. Con respecto a productos tradicionales (antibióticos, vitaminas, esteroides) se espera que se obtengan modificaciones en las técnicas de producción que aumenten la productividad y disminuyan los costos de producción. Bercovich y Katz³⁸ señalan que desde fines de los setenta ocurrió un nuevo salto/discontinuidad en los rendimientos de los procesos de producción biológicos. Estos autores aseguran que a partir de microorganismos modificados por ingeniería genética se están obteniendo ciertos productos que eran muy costosos de producir a través de las técnicas clásicas; es el caso de la insulina humana, de la hormona de crecimiento, de los interferones, antibióticos, enzimas, vacunas (hepatitis B), etcétera ;

d) nuevos productos. El mayor impacto se ha dado en los nuevos sistemas de diagnóstico, nuevas vacunas y en proteínas con efectos terapéuticos específicos (insulina humana, hormona del crecimiento, interferón, etc.); y

e) posibilidad de producir en gran escala compuestos de escasa o nula disponibilidad (interferones y otras linfoquinas, somatostatina y nuevas vacunas).

f) aumentar la tasa de éxito de entrada al mercado de nuevos medicamentos con respecto a las drogas químicas convencionales; y disminuir los periodos de revisión y aprobación de los productos biotecnológicos, por parte de las instancias de regulación, con respecto a las EQN. En 1990 este periodo fue 10 veces más corto en los Estados Unidos³⁹

Adicionalmente, la biotecnología está contribuyendo a realizar progresos decisivos en el conocimiento de los mecanismos íntimos de las enfermedades y del funcionamiento del cuerpo humano.

II.7. La biotecnología en la industria farmacéutica.

En el área de la salud, los nuevos métodos de diagnóstico son los que más se han expandido gracias a las nuevas tecnologías. Hasta 1985 ya se habían aprobado un centenar de anticuerpos monoclonales para uso en diagnóstico *in vitro*; mientras que la insulina era el único fármaco desarrollado por ingeniería genética cuyo uso se había

³⁸ Bercovich, N. *op. cit.*

³⁹ Struck, M. (1994)

autorizado a nivel mundial.⁴⁰

Se estima que un 20 % de los productos farmacéuticos estarían potencialmente afectados por las nuevas biotécnicas. Esa aparición de nuevos procesos y de toda una gama de productos farmacéuticos puede significar una reducción de costos de producción de compuestos ya utilizados, la apertura de nuevos mercados y la extensión de otros ya existentes (a partir de una drástica disminución de precios).¹

A fines de los ochenta se estimaba que el mercado mundial de los productos farmacéuticos de base biotecnológica oscilaba entre 5 mil y 10 mil millones de dólares, esto representa un 10 % del mercado farmacéutico total.

No obstante que las nuevas drogas de origen biotecnológico ya representan una alta proporción del total de nuevas drogas introducidas en el mercado (considerando el valor de ventas relativas) y que el ritmo de la introducción de productos biofarmacéuticos se ha acelerado desde 1986, particularmente con respecto a proteínas y péptidos naturales, se ha señalado que la frontera científica en biofarmacia se está moviendo con más rapidez en relación a las expectativas de la frontera comercial.⁴¹

Si bien se han registrado progresos en el área de fermentaciones, existen retos tecnológicos que aún no han sido superados.

Sercovich y Leopold⁴² afirman que los problemas asociados a la administración de las dosis han ocasionado demoras en la introducción de nuevos productos con respecto a los pronósticos que se publicaron hace algunos años. Las grandes moléculas de proteínas y péptidos en drogas no pueden ser consumidas oralmente sin haber sido previamente degradadas. La vía parenteral de administración presenta problemas similares. Se prevé que dentro de pocos años se examinarán nuevos sistemas de administración de los medicamentos.

Por otro lado, es poco probable que la terapia genética sea aplicada masivamente antes del fin de siglo (los mecanismos transformación celular y expresión genética aún

⁴⁰ En 1991 se reportaron en el mercado de E.U. sólo 8 productos: insulina humana, hormona de crecimiento humano, alfa interferón, activador plasminógeno de tejido, eritropoetina, Factor VIII:c, MAB-murina, y una vacuna recombinante contra hepatitis B. El número es singularmente alto en Japón, incluyendo también gamma interferón, productos 8 y 9 (para linfocitos), Bio-3 (un antidearreal) y una hormona-RH luteinizante (antitumor). En Europa el número de productos es también más alto que en los Estados Unidos, incluyendo otros tipos de interferón; 5 diferentes tipos de interleucinas, algunos péptidos, factor de necrosis tumoral, y factores de crecimiento. Algunos de estos productos han sido mejorados a través de técnicas de ingeniería genética. Adicionalmente, hay cerca de 300 pruebas diagnósticas en los mercados de la OECD. Sercovich, F. and Leopold, M. (1991)..

⁴¹ *Ibid*

⁴² *Ibid*

requiere mejor comprensión). En lo que respecta a los esfuerzos contra el cáncer y el sida no conceden muchas esperanzas para el futuro inmediato. Del mismo modo, es poco probable que nuevos tratamientos para desórdenes autoinmunes (artritis reumatoide, diabetes y esclerosis múltiple, junto con el cáncer y el sida) estén disponibles antes de que finalice el siglo; no obstante que estas enfermedades están atrayendo la mayor atención.⁴³

Aún cuando existen importantes retos tecnológicos para que crezca la disponibilidad de medicamentos de base biotecnológica se advierte que el diseño de drogas por esta vía puede ser más racional que las nuevas estrategias de síntesis química. Esto puede significar una reducción de costos en el diseño de nuevos fármacos especialmente en las fases de I-D y un campo fértil para la industria farmacéutica.⁴⁴

II.8. La industria biotecnológica en los países en desarrollo.

Más allá de que la biotecnología pueda tener un efecto de reestructuración en la industria farmacéutica, introduciendo nuevas exigencias de competitividad, conviene examinar su impacto en los países menos desarrollados.

El avance de la biotecnología ofrece riesgos y oportunidades para los países en desarrollo.

Oportunidades.

El nuevo modelo tecnológico promete la apertura de nuevos mercados, que pueden ser accesibles si se piensa en bajas barreras de ingreso. Los países que cuentan con una sólida capacidad científica pueden desarrollar una oferta competitiva a escala internacional. Sin embargo, no se pueden esperar cambios automáticos a en la solución de los problemas de salud a partir de la contribución de la biotecnología. Esto último está asociado a la magnitud de los beneficios comerciales que pudiesen obtener las empresas. Es posible que éstas no se involucren en desarrollos tecnológicos que no tengan un gran impacto comercial, aunque su importancia social sea muy alta.⁴⁵

⁴³ *Ibid.*

⁴⁴ Correa, C.M. (1992)

⁴⁵ Quintero, R. (1991)

Riesgos.

Si los países en desarrollo no participan en el desarrollo biotecnológico pueden enfrentar algunos riesgos. La sustitución de materias primas por otros productos puede afectar negativamente los términos de intercambio con los países industrializados.

La capacidad de reacción de las grandes empresas transnacionales puede reducir los espacios a nuevas empresas especializadas. El papel de estas últimas puede reducirse al de proveedoras de capacidad tecnológica y no de productos finales.

En el estudio de Sercovich y Leopold⁴⁶ se aprecia que es muy probable que en los países altamente industrializados los mayores esfuerzos en el diseño de fármacos de base biotecnológica se estén enfocando en las mismas categorías terapéuticas reportadas en el estudio de Kaitin, *et al*⁴⁷. Es posible que la biotecnología modifique los esquemas tradicionales de producción de medicamentos sin que esto tenga alguna repercusión positiva en la atención a las necesidades terapéuticas de los países no industrializados.

Expectativas.

La cercanía de la biotecnología con la ciencia y la novedad de esa actividad han generado expectativas en varios países en desarrollo respecto de las posibilidades de participar en los nuevos mercados. Si bien esas posibilidades existen, el éxito en aprovecharlas dependen no sólo de la solidez científica y técnica de la infraestructura con que se cuenta, sino de la velocidad de la respuesta y el carácter de las estrategias innovativas y de comercialización que se sigan.

No obstante los riesgos enunciados también se han propuesto otros escenarios posibles. Correa⁴⁸ sugiere que el cambio tecnológico que proviene de la biotecnología ofrece oportunidades para que nuevas empresas de los países industrializados e incluso en desarrollo ingresen en el mercado farmacéutico.

¿Qué oportunidades tienen los países en desarrollo?

Pérez⁴⁹ sostiene que en cuanto el nuevo paradigma comienza a desplegar su potencial se puede obtener, durante un tiempo limitado, acceso directo al saber científico pertinente y a la experiencia gerencial que normalmente constituyen barreras a la entrada

⁴⁶ Sercovich, F. and Leopold, M. (1991)

⁴⁷ Kaitin, K, *et al.* (1993)

⁴⁸ Correa, C.M. (1989)

⁴⁹ Pérez, C. (1992)

para los países rezagados.⁵⁰ Esta autora, advierte que en la primera fase de un nuevo paradigma gran parte de los principios científicos y técnicos necesarios para la innovación de productos y procesos puede aprenderse en universidades e institutos de investigación. Esto puede representar una "ventana de oportunidad" por la que los países menos industrializados pueden aprovechar las nuevas tecnologías de manera significativa.

II.9. La bioindustria en México.

En México existen centros de investigación biotecnológica de excelencia. Esta base científica representa una oportunidad para una temprana inserción del país en un sector con altas potencialidades económicas. Sin embargo, se ha señalado que los esfuerzos de investigación de estos centros se hallan desarticulados del aparato productivo.^{51, 52, 53}

La desvinculación entre los esfuerzos de investigación y los mercados, en un ambiente en donde predominan empresas con una cultura tecnológica poco desarrollada, puede diluir las expectativas de acceder a los niveles de competitividad que exige el proceso de globalización, desperdiciando, así, la "ventana de oportunidad" que ofrece el nuevo paradigma tecno-económico, asociado a la biotecnología.

En este momento la mayor parte del capital y de la tecnología de la industria biotecnológica del país es de origen extranjero. No obstante que el proceso de industrialización de la nueva biotecnología en México se inició a principios de los ochenta, imitando el proceso de surgimiento de las nuevas empresas biotecnológicas en los Estados Unidos, se debilitó muy pronto la incipiente iniciativa de emprender negocios en esta área.⁵⁴ Existen varios factores asociados a este decaimiento: la crisis económica, la ausencia de espíritu empresarial y de capitales de riesgo, la exigua aportación de fondos públicos para apoyar el desarrollo nacional en biotecnología, la carencia de un marco propicio de vinculación universidad-industria, entre otros. Es evidente que el impacto de estos factores debe ser analizado de manera específica si se pretende impulsar el desarrollo de nuevas empresas en esta área.

⁵⁰ En un sentido más estricto se señala que las barreras a la entrada en la industria farmacéutica relacionadas con la I-D no se derivan de la demanda de recursos para las actividades de investigación, sino de desarrollo.

⁵¹ Casas, R. (1991)

⁵² Quintero, R. (1985)

⁵³ Galindo, E. (1988)

⁵⁴ O. Vera-Cruz, A. (1992)

Uno de los factores que aún persisten es la poca disposición de los empresarios mexicanos en arriesgar en desarrollos endógenos; sin embargo, el argumento de que la nueva biotecnología está fuera de su alcance técnico parece no ser muy convincente a la luz de las capacidades científicas y tecnológicas que ya existen en el país.

No obstante que se ha establecido una infraestructura científica de alta calidad y de que se han creado programas de posgrado para la formación de investigadores de alto nivel, es muy reducido el número de biotecnologías generadas endógenamente que están en uso. Se ha advertido que un problema crucial es la dificultad de transferir las tecnologías y resultados obtenidos en los laboratorios al sector productivo.⁵⁵

Quintero⁵⁶ señala que desde hace 20 años, México ha venido haciendo intentos por desarrollar tecnologías biológicas propias, partiendo de necesidades específicas y buscando respuestas técnicas, a través de I-D, que se materialicen en la producción industrial y en la comercialización de productos. Este concepto de desarrollo endógeno, es el que ha prevalecido en los grupos de I-D, principalmente de carácter universitario, mientras que el sector productivo se ha inclinado en la compra, transferencia y adaptación de tecnología extranjera. Se presume que esta dualidad de conceptos entre los grupos de I-D y el sector productivo ha ocasionado que muy pocas tecnologías hayan alcanzado su objetivo de uso práctico.

Se ha planteado insistentemente que es necesario definir una política de biotecnología que de mayor congruencia a los esfuerzos desarrollados en este campo y favorezca un desarrollo tecnológico endógeno que responda al requerimiento del país, así como de captar selectivamente las transferencias del exterior.^{57, 58}

De este breve panorama de la biotecnología nacional se advierte una asimetría entre su desarrollo en el ámbito académico con respecto al ámbito industrial. Se entiende claramente la conveniencia de que la estrategia de desarrollo de la biotecnología nacional considere la infraestructura física y la calidad de los recursos humanos que ya existen en los centros de investigación. Sin embargo, la persistente disociación que existe entre la academia y la industria no puede entenderse al margen del examen de la lógica de funcionamiento de ambos sectores. La efectividad de los instrumentos de política científica y tecnológica en este campo dependen en gran medida del conocimiento de los agentes involucrados, así como de la naturaleza del proceso innovativo en este campo.

⁵⁵ Quintero, R. (1991)

⁵⁶ *Ibid.*

⁵⁷ *Ibid.*

⁵⁸ Casas, R. (1991).

III. Marco conceptual

III.1. El papel de la oferta y de la demanda en el proceso innovativo.

El proceso innovativo se ha explicado desde diferentes perspectivas teóricas. Conviene señalar los rasgos de algunas de ellas que permitan una mejor comprensión de la dinámica de la innovación tecnológica en el área de los medicamentos de base biotecnológica. Los modelos basados en la demanda se construyeron sobre las conclusiones de Schmookler⁵⁹ de que la invención y la innovación son esencialmente actividades económicas, que responden al movimiento en la demanda del mercado. Este autor sostiene que el tipo de mercancías hacia las que los inventores dirigen sus esfuerzos están determinadas por la expectativa de la retribución financiera y, por lo tanto, de la extensión de la demanda y del mercado. No desconoce la importancia del progreso de la ciencia y de la tecnología en el proceso inventivo; empero, advierte que este progreso sólo determina los dominios técnicos en los que se puede desenvolver el inventor.

Aquí se distinguen las características de la invención --los límites y los alcances que impone el conocimiento actual-- de los objetivos de quien la emprende; estos últimos dependen de la situación del mercado para las mercancías finales.

En esta misma línea de pensamiento, Vernon⁶⁰ explica la generación de nuevos productos en los países desarrollados en términos de las economías externas y el reconocimiento de oportunidades de generar nuevos productos en países con altos ingresos. Recordemos que en el caso de la industria farmacéutica de los Estados Unidos, Kaitin⁶¹ plantea que la respuesta a ciertas necesidades de salud, a través de nuevos medicamentos, puede representar una oportunidad, aún enfrentado altos costos, si se consideran altos niveles de ingresos. En este modelo cobra relevancia la capacidad de apropiación del conocimiento para traducirlo en la generación de nuevos productos. La tesis central de este enfoque es que el conocimiento es accesible a todos los países y lo que hace diferente las tasas de innovación entre estos es la diferencia internacional en la estructura de los mercados.

También se ha señalado que las ventajas tecnológicas entre los países se basa fundamentalmente en la existencia de personas con iniciativa y con energía creativa. Un

⁵⁹ Schmookler, J. (1979)

⁶⁰ Vernon, R. (1971)

⁶¹ Kaitin, K. *et al* (1993)

ejemplo típico de este tipo de empresarios Schumpeterianos se encuentra en el grupo de científicos que crearon la empresa biotecnológica Genentech en la ciudad de California en 1971.

También se ha sugerido que la escasez o abundancia de recursos naturales han representado un estímulo para el desarrollo de industrias específicas. La escasez explica el desarrollo de la industria química alemana durante la Segunda Guerra Mundial.⁶² Otros hechos dan mayor consistencia a las ideas de que los fuertes patrones de actividad innovativa pueden estar estimulados por la abundancia de ciertos recursos naturales, por ejemplo el desarrollo de la química de los esteroides y de la compañía farmacéutica Sintex en México a partir del uso de materias primas de origen mexicano.

Es claro que no se puede afirmar categóricamente que los patrones de innovación estén determinados por la escasez o abundancia de algún recurso.

Sin embargo, tampoco se pueden explicar todas las áreas significativas de la actividad innovativa nacional a partir de las peculiaridades de la demanda. No se puede pensar que la fuerte concentración de capacidades innovativas en la industria farmacéutica en Suiza este asociada por una proclividad mayor de los suizos a ciertos padecimientos.⁶³

Parece que el énfasis en la demanda ha ignorado el empuje de la ciencia moderna y la manera en que el aumento de conocimientos especializados ha conformado y extendido la capacidad tecnológica del hombre.

Desde una perspectiva histórica, Rosenberg⁶⁴ ha argumentado que la actividad innovativa depende no únicamente de la demanda sino también de la ciencia básica y la tecnología. Estas imponen un costo sobre el que la demanda puede ser satisfecha. Existen múltiples necesidades humanas de "alta prioridad" que existen desde hace muchos siglos y que aún permanecen insatisfechas. La satisfacción de estas necesidades pueden constituir actividades comerciales altamente rentables.

Si bien los estudios de Marquis y Myers adjudican a la oportunidad tecnológica sólo el 21 % de las innovaciones de una muestra, los resultados de Mowery y Rosenberg indican que el 83 % requirió insumos de información científica y tecnológica para su exitosa implementación.

En todo caso estos autores sostienen que pocos de los estudios realizados permiten especificar si una innovación fue conducida por un cambio en la demanda del mercado, o por un cambio en la oferta de ciencia y tecnología. La mayoría de los estudios no

⁶² Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. (1990)

⁶³ *Ibid*

⁶⁴ Rosenberg, N. (1976)

establecen una clara distinción en el reconocimiento de los innovadores de la demanda actual y la demanda potencial.

Lo que es un hecho es que las grandes empresas intensivas en I-D han comenzado a anticipar, y no solo a responder, a las demandas del mercado. Estas actividades anticipatorias inventivas e innovativas son recurrentes en la biotecnología.⁶⁵

Rosenberg⁶⁶ ha puntualizado que los cambios reales o anticipados en las señales del mercado no son el único gatillo para la actividad innovativa de la empresa. En algunos casos, las mejoras rápidas de la tecnología pueden en sí mismas abrir posibilidades para la innovación sin algún cambio en las señales del mercado. En otros casos el estancamiento de las tecnologías impide que ciertas oportunidades de mercado que son obvias se puedan explotar.

Muchas categorías importantes de necesidades humanas han quedado insatisfechas durante mucho tiempo a pesar de una demanda establecida. Sin lugar a dudas, es cierto que el progreso conseguido en técnicas de navegación en los siglos XVI y XVII se debió a la gran demanda de estas técnicas en aquellos siglos. Pero también es cierto que existía una gran demanda potencial en el mismo periodo de mejoras en las artes curativas en general, pero ninguna de estas mejoras estaba próximas. La explicación esencial es que el estado de las matemáticas y la astronomía proporcionaba una base de conocimientos útiles y fidedignos para los progresos en la navegación, mientras que en ese tiempo la medicina no

⁶⁵La creciente incertidumbre ha forzado a las compañías farmacéuticas a especular acerca de la demanda futura y a planear el desarrollo de los nuevos productos. La mayoría ha elegido concentrarse en el diseño de drogas que probablemente serán más comercializables; medicinas que reúnan una demanda obvia y que a la vez ofrezcan la perspectiva de altos rendimientos. Las actividades de investigación se han centrado en muy pocas enfermedades: diez categorías contabilizan cerca del 87 por ciento de todos los proyectos de investigación realizados en 1988 y más de la mitad de estos fueron sobre 5 categorías. Esta distribución de proyectos en la fase preclínica refleja la valoración que se está haciendo del mercado para el año 1995. Las drogas que están siendo lanzadas en este momento al mercado o que se encuentran en la fase clínica de experimentación representan la visión que se tenía de la demanda en 1980, cuando fueron planeados los programas de investigación.

La industria ha asignado una prioridad a la futura demanda de antibióticos, antineoplásicos, cardiovasculares y biotecnología (referida como categoría tecnológica). Se espera que aumente la demanda de antibióticos para combatir los altos niveles de resistencia. Se ha pronosticado un incremento en la demanda para drogas cardiovasculares en las poblaciones de mayor edad, que se localizan en los países de mayor consumo. En el caso de nuevos medicamentos de base biotecnológica, se ha estimulado la investigación, por lo promisorio de los nuevos métodos, para la manufactura industrial de drogas. Se están comercializando productos derivados de la biotecnología como insulina humana y las hormonas de crecimiento humano. Se esperará que en breve se apruebe para su venta una nueva entidad molecular para el tratamiento del cáncer. Es posible que puedan aparecer nuevas vacunas de base biotecnológica para la malaria, la rabia, el cólera y otras enfermedades comunes en los países en desarrollo. Ballance, *et al.* (1992).

⁶⁶ Rosenberg, N. (1979)

tenía tal base. Aunque el campo de la medicina atrajo gran interés, considerables sumas de dinero y gran número de personas científicamente preparadas, su progreso tuvo que aguardar hasta el desarrollo de la bacteriología en la segunda mitad del siglo XIX. Las mejoras en el tratamiento de enfermedades infecciosas requerían de una manera absoluta del progreso de esta disciplina.⁶⁷

El papel de las fuerzas por parte de la demanda es de limitado valor explicativo a menos que sea posible definir las e identificarlas independientemente de la evidencia de que la demanda fue satisfecha. La referencia al progreso médico sugiere que exigencias humanas de "alta prioridad", que hubieran constituido actividades comerciales muy útiles, todavía permanen insatisfechas.

Rosenberg⁶⁸ ha advertido que el estado de las diferentes ciencias sólo hace que algunas invenciones sean más fáciles (más baratas) y otras más difíciles (más costosas). Al considerar la manera en que ha crecido el *stock* de conocimientos científicos sobresale el hecho de que la naturaleza contiene muchos subdominios, que varían enormemente en su relativa complejidad. El aumento de conocimientos en estas disciplinas independientes está relacionado con la complejidad de cada una. Los microbios pudieron ser examinados gracias al desarrollo de la óptica; el estudio de la estructura atómica de moléculas gigantes esperó la técnica de la cristalografía de rayos X. La química orgánica permaneció durante mucho tiempo insensible a una evidente y apremiante demanda y retrasada respecto a la química inorgánica a causa del mayor tamaño y complejidad estructural de las moléculas orgánicas. Consideraciones similares se aplican para entender la evolución temporal de los resultados comercializables de estas actividades. La estructura molecular de la vitamina B12, esencial en el tratamiento de la anemia perniciosa, es más compleja que la vitamina B1 o C, y como resultado llevó más tiempo aislarla, sintetizarla y colocarla en la producción comercial. El progreso en el tratamiento de la diabetes estaba asociada a la dificultad de descifrar la molécula de insulina: una estructura tridimensional de gran complejidad consistente en no menos de 777 átomos. Estos descubrimientos permiten explicar por qué tardó más en iniciarse un programa médico efectivo en el caso de la diabetes que en las enfermedades como la malaria, la sífilis y el cólera.

Rosenberg⁶⁹ afirma que si bien las fuerzas y motivos económicos han desempeñado de manera inevitable un papel principal en formar la dirección del progreso

⁶⁷ Rosenberg, N. (1979)

⁶⁸ *Ibid*

⁶⁹ *Ibid*

científico, no han actuado dentro de un vacío, sino dentro de los cambiantes límites y restricciones de un cuerpo de conocimientos científicos que crece a ritmos desiguales entre las subdisciplinas que lo componen.

La demanda de niveles más altos de consumo de alimentos, mayor esperanza de vida, la eliminación de enfermedades infecciosas, y la reducción del dolor y las molestias, han existido en forma indefinida en el pasado, pero sólo fue satisfecha en abundancia en épocas recientes. Parece razonable que la explicación ha de encontrarse en función de consideraciones relativas a la oferta. No es probable que una cantidad de dinero dedicada a actividad inventiva en 1800 pudiese haber producido modernos antibióticos de amplio espectro. La oferta de ciertos tipos de inventos, en algunos momentos, es completamente inelástica y de producción cero a todos los niveles de precios.

Expuesto en estos términos, el debate entre la importancia de la oferta de conocimientos y de la demanda de satisfactores para necesidades actuales o potenciales, no ofrece suficientes elementos conceptuales para entender la dinámica del proceso innovativo y de la dirección del cambio técnico.

III. 2 Concepción paradigmática del conocimiento tecnológico.

La innovación es en esencia la colisión entre necesidades y oportunidades técnicas para crear nuevos conocimientos económicamente útiles.⁷⁰ En todo caso se puede decir, siguiendo a Dosi⁷¹, que la búsqueda, el desarrollo y la adopción de nuevos procesos y productos son el resultado de la interacción entre:

- a) capacidades y estímulos generados dentro de cada empresa y cada industria;
- b) amplias causas externas a la industria individual, tales como el estado de la ciencia en diferentes áreas;
- c) la facilidad para la comunicación del conocimiento;
- d) la oferta de capacidades técnicas, habilidades.
- e) las condiciones que controlan la movilidad ocupacional y geográfica.
- f) la propensión o resistencia de los consumidores al cambio.
- g) las condiciones de mercado, particularmente la competición interfirmas y sobre el crecimiento de la demanda;

⁷⁰ Lundvall, B.A. (1992)

⁷¹ Dosi, G. (1988)

- h) las facilidades financieras y patrones y criterios de asignación de fondos;
- i) las tendencias macroeconómicas, especialmente en sus efectos sobre el cambio en los precios relativos de insumos y productos;
- j) las políticas públicas (v.g. impuestos, patentes, políticas industrial, procuración social).

Estos amplios factores afectan las oportunidades, los incentivos y las capacidades de innovar de diferentes firmas.

El estudio de la tecnología y del cambio técnico con base en el concepto de paradigma⁷², introducido por Kuhn en el caso de la ciencia y por Dosi⁷³ en el caso de la tecnología, contribuye a resolver el largo debate en la literatura de la innovación acerca de la importancia relativa del "arrastre" de la demanda *versus* el "empuje" de la tecnología: los aspectos económicos, tales como la demanda y los precios relativos, etc. son un elemento instrumental que modelan: a) el ritmo de la innovación; b) las trayectorias tecnológicas dentro del paradigma; y c) los criterios de selección entre los paradigmas potenciales.

Una implicación crucial de la concepción paradigmática del conocimiento tecnológico es que las actividades innovativas son fuertemente selectivas, focalizadas en direcciones muy precisas y acumulativas en la adquisición de capacidades para la solución de problemas.

Dosi⁷⁴ sugiere que cada paradigma tecnológico acarrea un balance específico entre determinantes exógenos de la innovación (p. ej. avances científicos de las universidades) y determinantes que son endógenos al proceso de competición y acumulación tecnológico de empresas e industrias específicas.

⁷² Del mismo modo que en la moderna filosofía de la ciencia se sugiere la existencia de paradigmas científicos, también se hace referencia a los paradigmas tecnológicos. Tanto el paradigma científico como el paradigma tecnológico incorporan una visión, una definición de los problemas relevantes. Un paradigma tecnológico puede ser definido como un "patrón" de solución de problemas basado sobre principios altamente seleccionados derivados de conocimientos previos y de experiencias. Una trayectoria tecnológica se define como progreso tecnológico a lo largo de un paradigma. Las trayectorias tecnológicas pueden ser trazadas por la distribución sobre el tiempo de innovaciones, patentes y artículos científicos, los cuales están relacionados al paradigma tecnológico. El origen de la trayectoria tecnológica no es solamente una innovación radical, la cual provee un modelo de imitación, sino también la innovación de proceso la cual hace posible la imitación.

⁷³ Dosi, G. (1982)

⁷⁴ Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. (1990)

Los estudios sobre el proceso de innovación y del cambio técnico han reconocido un relativo desenvolvimiento autónomo del progreso técnico con respecto a las fuerzas económicas. Los estudios de Freeman⁷⁵, Rosenberg⁷⁶ y Dosi⁷⁷ coinciden en que la naturaleza de las tecnologías en sí mismas determinan el rango dentro del cual los productos y los procesos pueden ajustarse a los cambios en las condiciones económicas, así como la dirección del progreso técnico.

La creciente complejidad de las actividades de innovación, en el que el conocimiento científico juega un rol crucial, colocan a las instituciones (laboratorios de Investigación y Desarrollo, Universidades, etcétera) como el medio ambiente propicio para las etapas tempranas de este proceso. No obstante la creciente formalización de la investigación científica y tecnológica el proceso innovativo involucra un elemento fundamental de incertidumbre con respecto a la posibilidad de trazar con precisión los procedimientos de solución a los problemas tecnoeconómicos. Esto no significa que el desarrollo de la tecnología en el tiempo sea aleatorio. Por un lado, la dirección del cambio técnico está definido por el "estado del arte" de las tecnologías en uso. Por otro lado, la probabilidad de los avances tecnológicos en las empresas, las instituciones de investigación y los países es, entre otras cosas, una función de los niveles tecnológicos ejecutados por ellos. En este sentido el cambio tecnológico es una actividad acumulativa que se desplaza en zonas tecnológica y económicamente relacionadas. Si estas zonas pueden ser identificadas, medidas y explicadas, será posible predecir los patrones de actividad innovativa en empresas, instituciones de investigación e incluso a nivel nacional.^{78, 79}

La ciencia y la tecnología progresan, en alguna medida, a lo largo de líneas determinadas por una lógica interna independientemente de la necesidad económica.⁸⁰ El creciente rol de los insumos científicos en el proceso innovativo puede ser tomado como evidencia de la importancia de factores "exógenos" al proceso competitivo, aún entre actores motivados económicamente.⁸¹

El avance científico condiciona directamente las fases tempranas del desarrollo de

⁷⁵ Freeman, C. (1982)

⁷⁶ Rosenberg, N. (1976).

⁷⁷ Dosi, G. (1982)

⁷⁸ Dosi, G. (1988)

⁷⁹ Dosi, G. (1982)

⁸⁰ Jewkes, *et al.* (1969)

⁸¹ Dosi, G. (1988)

nuevos paradigmas tecnológicos. Frecuentemente el establecimiento de un nuevo paradigma también involucra la solución de problemas de naturaleza técnica que en sí mismos son un reto para los científicos (la ingeniería genética es un ejemplo obvio).

En cierto sentido, el progreso del conocimiento científico produce un amplio abanico de potenciales paradigmas tecnológicos. El proceso de selección de estos paradigmas depende de:

- a) la naturaleza del puente institucional que existe entre la investigación básica y las aplicaciones económicas;
- b) de factores institucionales y políticas de agencias y organismos públicos;
- c) los mecanismos de ensayo y error en la exploración de las nuevas tecnologías asociado a las actividades de los empresarios "schumpeterianos"; y
- d) el criterio de selección del mercado y/o los requerimientos tecno-económicos de los usuarios iniciales de la tecnología (p. ej. la legislación que regula la introducción de nuevas drogas).⁸²

En este estudio se analizan algunos rasgos del complejo institucional en el que se desenvuelve un centro dinamizador de la biotecnología en México. Este análisis permitirá, por un lado, identificar los elementos de política científica y tecnológica que han regulado su comportamiento y, por otro, tener una mejor comprensión de los factores que han favorecido u obstaculizado el aprovechamiento, por parte de la estructura productiva, de las capacidades endógenas de ciencia y tecnología en esta área emergente.

Existe evidencia de que el proceso innovativo se acelera y se traduce con mayor rapidez y eficacia cuando la investigación tecnológica se realiza dentro de las propias empresas; empero, existen diferencias intersectoriales, asociados a la naturaleza de la tecnología -grado de apropiabilidad y de complejidad- que confieren un peso muy importante a la participación de otras instituciones en el proceso. En el caso de la biotecnología, al estar asociada al avance de la ciencia, es fundamental el papel de las universidades, las agencias y las políticas gubernamentales.^{83, 84}

El proceso de innovación se desenvuelve en un sistema institucional complejo; el flujo de conocimientos que ocurre en este proceso supone el encuentro de diversos agentes y, por lo tanto, de diferentes enfoques con respecto a la orientación de la investigación científica y tecnológica.

Cuando se establece un paradigma tecnológico es posible que los objetivos y los

⁸² Dosi, G. (1988)

⁸³ Lundvall, B.A. (1992)

⁸⁴ Dosi, G. (1982)

problemas heurísticos de la investigación tecnológica tiendan a diverger de las preguntas de los científicos. Sin embargo, las actividades de los científicos a menudo definen trayectorias para la investigación tecnológica; es decir, parte de la actividad científica se vuelve "endógena" dentro de las actividades de acumulación tecnológica.⁸⁵ Este proceso, que se ha identificado en la investigación científica aplicada en el desarrollo de medicamentos, ocurre tanto en las empresas como en las universidades.

Una vez que la universidad ha comprometido recursos en un desarrollo experimental se incorpora la idea de la demanda, lo cual permite justificar el programa de desarrollo tecnológico. Esto significa que la identificación de la "necesidad" o la "demanda" de un bien o un servicio no explica totalmente las motivaciones que se movilizan para satisfacerla, debido a que la justificación obedece también a un complejo proceso de consonancia cognoscitiva y, por lo tanto, tampoco explica la dirección del cambio técnico.

Un elemento crucial de este estudio es el análisis del proceso de selección de tecnologías específicas a través del tiempo. En este análisis se parte de tres premisas que se desprenden de un enfoque evolucionista⁸⁶ del proceso de la innovación:

1. El desarrollo de la tecnología en el tiempo involucra elementos aleatorios; pero existen mecanismos que sistemáticamente afectan la dirección del cambio técnico.

2. Existe un proceso "lamarckiano" de selección de las tecnologías (a partir de un proceso de aprendizaje y de adaptación) que da lugar a trayectorias tecnológicas específicas.

3. El aprendizaje y la adaptación son resultado de la retroalimentación de los actos y sus consecuencias.

⁸⁵ Dosi, G. (1988)

⁸⁶ Dosi, G. y Nelson, R. (1994)

Achilladelis⁸⁷ señala, con base en un estudio histórico y empírico, que con excepción del descubrimiento de la penicilina, las necesidades sociales y la demanda del mercado han sido importantes fuerzas para dirigir desde una etapa temprana el desarrollo de medicinas antibacterinas (antibióticos). Este autor refiere la demanda del mercado en relación al patrón de morbilidad y de mortalidad de los países. Este autor sostiene que la comercialización exitosa de una innovación radical tiene un efecto orientador y actúa como un poderoso catalizador para el avance de la ciencia y de la tecnología. Toda innovación ejerce un efecto catalítico sobre la academia y la investigación industrial; por un lado, aumenta el reto de los científicos, y, por otro, aumenta el interés de las compañías por los posibles beneficios.

Con base en estas conclusiones planteamos dos hipótesis de trabajo en este estudio:

1. Las innovaciones, definidas como el éxito comercial de un producto en una determinada trayectoria tecnológica, tendrán un efecto orientador y actuarán como un poderoso catalizador del dinamismo de la investigación científica y tecnológica de la unidad de investigación estudiada. Esto puede conducir a un proceso de especialización en esta unidad.

2. Si se considera al patrón de morbilidad y de mortalidad como un elemento de la fuerza de la demanda, se espera que la investigación de nuevos medicamentos de base biotecnológica, realizada en esta unidades de investigación, esté orientada hacia las categorías terapéuticas que definen el patrón de morbi-mortalidad del país, pero en el dominio de un número restringido de categorías tecnológicas (pruebas de diagnóstico y vacunas, por ejemplo).

⁸⁷ Achilladelis, B. (1993)

IV. Metodología

Se eligió al Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBT-UNAM) para realizar este estudio empírico sobre los factores que operan en la selección de tecnologías específicas, durante el proceso de Investigación y Desarrollo (I-D), en los centros dinamizadores de la biotecnología en México en el área de la salud.

El IBT-UNAM ha sido definido como un centro dinamizador de la biotecnología en México con base en la tipología que se desprende de una evaluación reciente de 44 centros de investigación biotecnológica que existen en el país.⁸⁸ Según esta clasificación son centros dinamizadores aquellos que: a) tienen una mayor capacidad de generar descubrimientos científicos y nuevos métodos y técnicas para la resolución de problemas biotecnológicos; b) cuentan con personal de investigación con alto grado de especialización; c) tienen equipos de trabajo de carácter interdisciplinario y trabajan en proyectos colectivos; d) mantienen comunicación directa y permanente con centros de excelencia a nivel internacional y desarrollan proyectos en colaboración con centros extranjeros; y e) concentran la mayor parte del financiamiento nacional a la investigación.

Se justifica que se considere a una universidad pública como punto de referencia para este análisis debido a que en México, como en la mayoría de los países menos desarrollados, la investigación biotecnológica se realiza fundamentalmente en este tipo de instituciones.

El IBT-UNAM realiza investigaciones que se inscriben en los sectores farmacéutico/salud, agrícola/alimentos y ecología. En este estudio sólo se analizan los productos de investigación que se derivan de los proyectos relacionados con aspectos de salud; estos representan el 57 % del total (144 de 397). Los resultados obtenidos sólo reflejan la dinámica de esta área y su interpretación está sujeta al análisis de las características del sector en que se inscribe.

Este estudio, que cubre el periodo de 1982 a 1990, se inspira en los conceptos evolucionistas enunciados previamente en el marco conceptual. Se analizan 3 posibles factores de selección de las categorías tecnológicas que se han desarrollado en el instituto: a) los criterios de evaluación de la actividad científica y tecnológica; b) el posible rol catalítico de las innovaciones; y c) el patrón de morbilidad como expresión de la demanda. Se asume que estos factores no operan como elementos aislados, sino que conforman una estructura compleja multidimensional.

⁸⁸ Guadarrama, S.R. Labra, B. y Mejia, N.G. (1992)

Los campos de actividad dentro del sector farmacéutico en los que participa la biotecnología constituyen la unidad de selección. La producción científica y tecnológica, expresada como número de artículos, desarrollos tecnológicos, reportes técnicos y patentes, constituyen la medida de adaptación y de extinción de estas categorías tecnológicas.

Los productos de la investigación científica y tecnológica se clasificaron de acuerdo a los productos terapéuticos que se podrían obtener como resultado de esa investigación (vacunas, medicamentos, sistemas de diagnóstico, vitaminas, hormonas, producción de microorganismos, etcétera).

Se consideraron como productos de la investigación científica y tecnológica a los artículos publicados en revistas especializadas e informes técnicos, los desarrollos tecnológicos, los convenios, las patentes y los contratos de transferencia de tecnología.

La parte correspondiente al análisis bibliométrico se realizó con base en el reporte de los informes anuales de la UNAM. Esta búsqueda permitió una cobertura exhaustiva de la producción científica del IBT durante el periodo de interés que quizá no se hubiese garantizado a través de bancos de datos clásicos como el *Science Citation Index* o el MEDLINE (*Index Medicus*).

Los productos de la investigación también se clasificaron por categoría terapéutica, de acuerdo con la clasificación internacional de enfermedades. Se realizó un análisis comparativo entre los temas de investigación que se abordan en el instituto y el patrón de morbilidad del país.

Se elaboró una base de datos con las fichas bibliográficas (autor, título del artículo, nombre de la revista, año) para clasificar los productos por categorías tecnológica y terapéutica. Esta clasificación se realizó con base en un minucioso análisis de los objetivos de cada una de las líneas de investigación del Instituto de Biotecnología y de la identificación de los investigadores participantes.

Finalmente, se realizaron entrevistas semiestructuradas, a propósito de los temas de interés de este estudio, con algunos de los líderes académicos de esta dependencia.

V. Resultados.

V.1. El complejo institucional.

La fundación, en 1982, del Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología (CIIGB) de la UNAM, en Cuernavaca Morelos, estuvo asociada estrechamente a la labor pionera del doctor Francisco Bolívar Zapata, uno de los científicos que fundaron Genentech, la primera compañía de ingeniería genética en el mundo. La década de los setenta marcó el inicio de la manipulación enzimática del material genético en los seres vivos y consecuentemente la aparición de la ingeniería genética. Si bien fue hasta la década de los ochenta que México crea las primeras instituciones orientadas a la investigación biotecnológica de tercera generación, no existió un rezago insalvable con respecto a la realizada en los países que marcaban la frontera del conocimiento.

Sin embargo, la labor pionera no fue fácil. Es probable que el gran esfuerzo que se requirió para convencer a las autoridades universitarias y gubernamentales de que era necesario desarrollar infraestructura en el campo de la biotecnología moderna, haya obedecido al estado aún incipiente de este campo a nivel mundial.

1982-1986. La tecnología competitiva.

Desde su creación, el CIIGB se propuso desarrollar la biotecnología en la UNAM de manera integral y transdisciplinariamente. Esto estaría sustentado en investigación de excelencia académica y de frontera, así como en la formación de recursos humanos especializados. Sus funciones serían generar conocimiento en las áreas de biología molecular, biología celular, microbiología, bioquímica, ingeniería bioquímica, inmunología y ecología microbiana. Este conocimiento se utilizaría para desarrollar tecnología biológica competitiva, de preferencia en colaboración con el sector industrial, orientada a la solución de problemas en las áreas de salud, agropecuaria, industria y ecología.

El principal esfuerzo del Instituto se ha orientado al estudio, la producción y la utilización de proteínas y ácidos nucleicos. Esto se ha dado a través de una estructura académica que favorece la interacción de grupos de excelencia, que resalta el carácter genérico de la biotecnología y su potencialidad de aplicación multisectorial.

El surgimiento del CIIGB coincidió en el tiempo con el periodo de crisis económica que caracterizó a la década de los ochenta. Es posible que la depresión económica no sólo haya afectado la labor de los centros de investigación, ante la inestabilidad en la asignación de recursos

para la ciencia y la tecnología⁸⁹ comprometiendo con ello la posibilidad de desarrollo de la biotecnología moderna en México, sino que al mismo tiempo pudo haber desalentado intentos serios de crear empresas biotecnológicas cercanas a las actividades de la universidad.

"...En 1982 algunos investigadores del CIIGB fundaron una empresa biotecnológica, que logró realizar algunos desarrollos tecnológicos y transferirlos a Cuba; sin embargo, no se obtuvieron regalías suficientes para mantener la compañía. Era una época difícil para el país y, ante la imposibilidad de continuar en esa dirección, los investigadores decidieron concentrar sus esfuerzos en la formación de recursos humanos y en crear la infraestructura para consolidar la biotecnología moderna en la Universidad..." Bolívar Zapata, F. Entrevista personal realizada en el IBT-UNAM en enero de 1993.

A pesar de que el despegue del Centro ocurrió en un ambiente económico muy desfavorable, logró consolidarse académicamente; esto justificó que en 1991 adquiriera el estatus de Instituto (ahora, Instituto de Biotecnología, IBT) con base en los criterios de diferenciación académica de la UNAM.

1986-1991. Consolidación de la investigación básica.

La desvinculación entre los esfuerzos de investigación tecnológica y los mercados está asociada al carácter ofertista de la política de ciencia y tecnología que caracteriza a la etapa de creación del Conacyt a principio de la década de los setenta, y que coincide en el tiempo con el surgimiento de la biotecnología en México. En esa etapa se concibió como única vía de desarrollo el financiamiento de los institutos de investigación y de las universidades sin plantear medios para incrementar de forma simultánea la demanda de tecnología por parte del aparato productivo. Esta concepción estrecha⁹⁰ de la política de ciencia y tecnología perduró todavía durante el periodo de 1984-1988 en que se estableció el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico (Prondetec) como instrumento de política. En este programa se estableció un criterio de asignación de recursos para la ciencia y para la tecnología a partir de la definición de áreas prioritarias.

Algunos autores⁹¹ han señalado que este esfuerzo de planeación se concibió al margen de los desarrollos teóricos sobre la planificación de la ciencia y de la tecnología. A nivel teórico se han desarrollado diversos enfoques: sistémico; la evaluación de las interacciones mutuas entre las diferentes disciplinas científicas y tecnológicas y entre tecnología y desarrollo; la evaluación de la derrama de unas tecnologías sobre otras; y proyectos metodológicos basados en los principios de la planeación estratégica y los frentes tecnológicos productivos, entre otros.

⁸⁹ Flores, J. López-Torres, R. y Villa Soto, J.C. (1991)

⁹⁰ Callon, M. Courtial, P. Crance, P. et al (1991)

⁹¹ Waissbluth, M. y Gutierrez, I. (1987)

En el Prondetyc se detectaron deficiencias tales como la ausencia de una concepción estratégica al no hacerse referencia a las capacidades existentes, ni a la inserción del país en el contexto internacional. El grado de generalización con el que se definieron las áreas prioritarias y la amplitud de sectores que éstas cubrían revelaban la intención de satisfacer políticamente al conjunto de investigadores, percibidos como grupos de presión, y no tanto de impulsar estratégicamente algunas áreas.

La creación en 1991 del denominado nuevo Conacyt marcó un viraje en la política de ciencia y de tecnología del Gobierno Federal. Se modificaron los criterios para la asignación de recursos para la ciencia y la tecnología. En el Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica (1990-1994) se estableció un modelo de asignación de recursos para la ciencia basado en criterios de calidad, dejando atrás la determinación de áreas prioritarias. El argumento de este cambio es que se corría el riesgo de distorcionar el crecimiento del aparato científico si desde el poder público se privilegiaban ciertas áreas, en un momento en que todavía no se sabe en dónde están las ventajas y las desventajas. La idea central es que no existe un mercado para la investigación básica porque es un bien público. El Conacyt pretendió establecer mecanismos de asignación de recursos que produjeran los mismos resultados de un mercado competitivo.⁹²

El IBT-UNAM ha asumido, sin tener que redefinir sus funciones, los lineamientos de la política de ciencia y tecnología enunciados a partir de 1990 en el PNCMT. No obstante, en el IBT se ha señalado que puede coexistir un modelo que se basa en la excelencia académica para asignación de recursos con otro que define áreas prioritarias.

"...en este momento es prioritario apoyar a los grupos de excelencia, que son muy pocos. Allí no hay problema, tampoco debería haberlo para apoyar a aquellas áreas en las que tenemos riqueza, porque tampoco son muchas..." Bolívar Zapata, F. Entrevista persona...

Desde luego que se considera que entre las áreas prioritarias debe quedar incluida la biotecnología.

"...existe una "ventana de oportunidad" para que México camine de cerca a algunos de los países desarrollados en el campo de la biotecnología. Existen dos elementos que apoyan esta tesis: el primero es la tradición que existe en México en el área de la biología y la existencia de centros en donde se investiga al nivel de la frontera del conocimiento, particularmente en la biotecnología moderna. El otro elemento es la riqueza en la biodiversidad existente en el país, que representa una ventaja si se le utiliza inteligentemente..." Bolívar Zapata, F. Entrevista personal...

Los criterios de evaluación que aplica el Conacyt, con base en este nuevo modelo, y

⁹² Flores, J. (1991)

el que aplican las agencias internacionales para financiar los programas o proyectos de investigación se hallan sujetos a estándares muy similares a los que se establecieron para incentivar el trabajo académico desde 1984 con la creación del Sistema Nacional de Investigadores como instrumento de política.

El producto académico que recibe una mayor ponderación en la evaluación del Sistema Nacional de Investigadores es el trabajo publicado en revistas internacionales. También las citas de los trabajos publicados es otro parámetro importante en esta valoración. En 1991 se reportó que los trabajos de investigación de los miembros del Instituto habían recibido más de 10 000 citas en la literatura mundial.

Desde su fundación en 1982, el IBT ha concentrado la publicación de sus productos de investigación en revistas internacionales. No obstante, llama la atención que a partir de 1986 se registra un crecimiento acelerado en el número de artículos publicados en este tipo de revistas. (Fig. 1). Este cambio ocurre con una demora de dos años con respecto a la creación del Sistema Nacional de Investigadores.

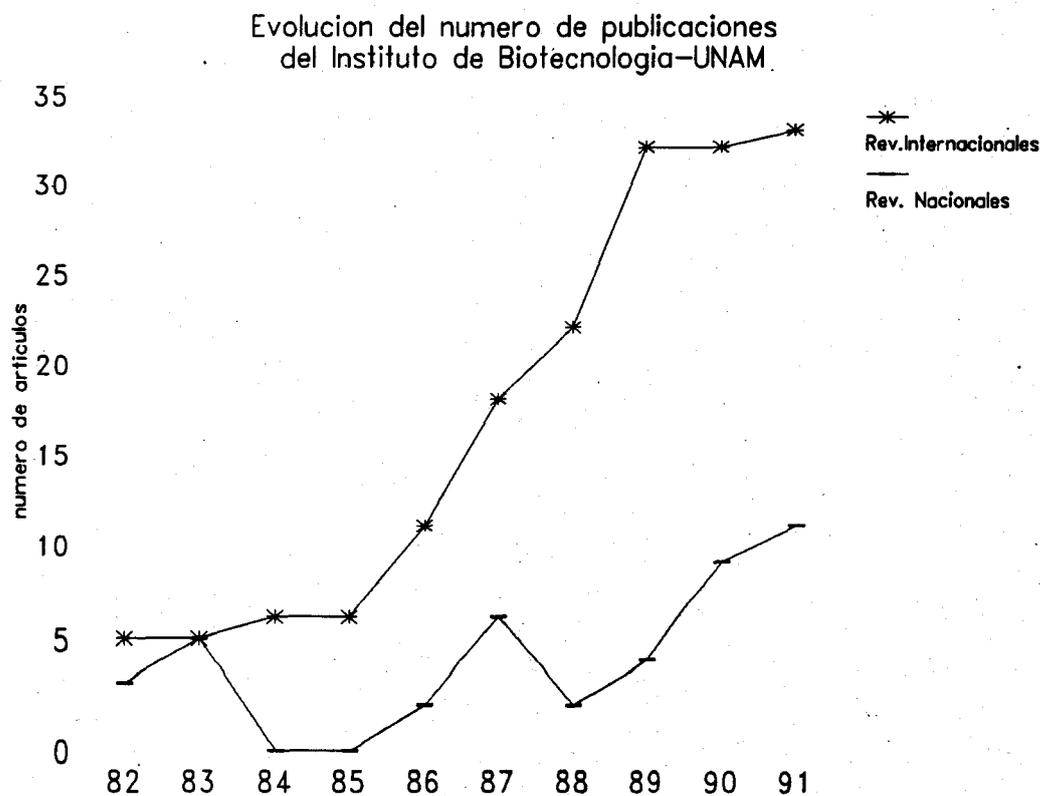


Fig. 1. Evolución del número de artículos publicados en revistas internacionales y en revistas nacionales de 1982 a 1991 en el IBT. Se ha otorgado preferencia a la publicación de los trabajos en revistas internacionales. El número de estos artículos creció de manera exponencial. El ritmo de crecimiento se aceleró en 1986. A partir de ese año y hasta 1989, la variación porcentual promedio fue de 53.6; mientras que en los años previos fue de 6.6. Fuente. Elaboración propia con base en datos del Informe 1991 del IBT

Para 1991, 55 investigadores del instituto (60 por ciento del total) pertenecían al Sistema Nacional de Investigadores. No se puede descartar que este instrumento de política, creado en 1984 con el fin de otorgar becas a los investigadores nacionales más productivos, haya adquirido una gran relevancia en la orientación de las actividades del instituto ante el fracaso de los mecanismos para incentivar la participación de las empresas nacionales en el proceso de innovación tecnológica.

No obstante, el IBT no ha abandonado el propósito de desarrollar tecnología biológica competitiva. Por otro lado, la alta propensión a producir artículos científicos tampoco ha conducido a que los investigadores rechacen la colaboración con empresas nacionales y transnacionales.

La vinculación del IBT con el sector industrial está regulada por la concepción que en él prevalece con respecto a las funciones de la Universidad: el papel de la universidad es desarrollar conocimiento, estando abierta al interés de la industria por codesarrollar tecnología competitiva tanto económica como técnicamente. Los investigadores de este instituto esperan que la industria se acerque a la Universidad y le plantee problemas. Sin embargo, se considera que el papel de la universidad no debe de ser pasivo.

"...La universidad puede difundir lo que hace para que la industria conozca las capacidades de sus centros e institutos. Sin embargo, es muy importante ser cuidadosos en que los esfuerzos se concentren en problemas reales y que sean de interés mutuo. La universidad debe ser sensible a las necesidades de la industria. No tiene sentido desarrollar tecnología que no se va a usar, aunque sea interesante, hacerlo significa pérdida de tiempo y descrédito para la Universidad..." Bolívar Zapata, F. Entrevista personal...

A juzgar por la distribución porcentual del número de convenios por tipo de institución participante se presume que durante la década de los ochenta predominó el esquema de financiamiento que se rige con base en el criterio de reconocimiento del conocimiento certificado establecido por las agencias (incluyendo al Conacyt) (Figura 2).

Convenios del IBT-UNAM por institución en el área de salud

(1982 - 1990)

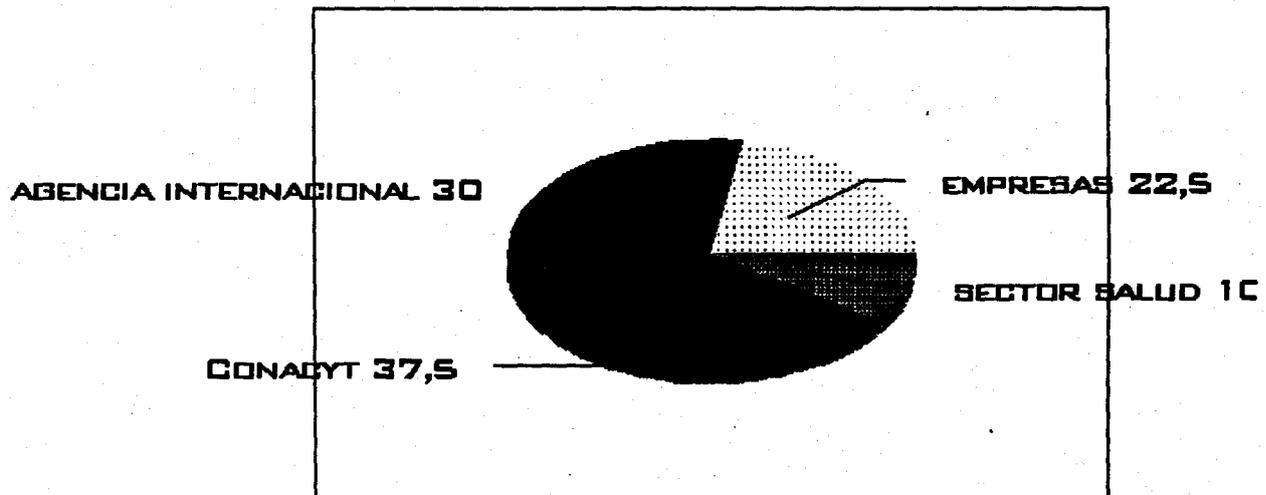


Fig. 2. Distribución porcentual del número de convenios que el IBT ha suscrito con el Conacyt, empresas, organismos internacionales e instituciones del sector salud de 1982 a 1990. Sólo se consideran los convenios que involucran proyectos del área de la salud. Fuente: elaboración propia con datos del Informe 1991 del IBT. El IBT estableció el 22.% de sus convenios del área de la salud con empresas farmacéuticas. Se presume que ha sido muy importante el peso relativo del financiamiento que proviene de agencias internacionales, pues éstas participaron en el 30 % de los convenios del IBT de 1982 a 1990. Con respecto a los apoyos del Conacyt, estos representaron el 37.5 % y se concentraron específicamente en el área de las neurociencias y en las investigaciones sobre la función y manipulación de péptidos y proteínas. Las instituciones del sector salud participaron en el 10 % de los convenios del IBT durante el periodo de estudio.

Empero, esto no significa que necesariamente se haya destinado un menor financiamiento a los proyectos inscritos en algún campo de actividad específico. En todo caso, es notable la intervención de los fideicomisos, los apoyos de Conacyt y de los Organismos Internacionales en los proyectos de optimización e integración de procesos y prototipos que pueden ser utilizados por la industria. En estos proyectos, que pueden generar desarrollos tecnológicos, participan investigadores y líderes académicos que están involucrados en diversos proyectos afines en diferentes líneas de investigación.

Los datos sugieren que menos de una cuarta parte de los proyectos subvencionados a través de los convenios se hayan desarticulados del aparato productivo, al menos no responden a una demanda explícita de tecnología por parte de las empresas.

V. 2. Campos de actividad dominantes en el IBT.

Desde su fundación, el Instituto de Biotecnología de la UNAM, se ha abocado al estudio de los mecanismos de control que gobiernan la expresión genética en los organismos vivos. La publicación de trabajos en revistas internacionales durante la década de los ochenta se concentró principalmente en estudios fundamentales en esta área. Empero, algunos de los estudios sobre la bioquímica de bacterias y de virus se han constituido en modelos de aplicación del conocimiento básico en el desarrollo de sistemas de diagnóstico de enfermedades infecciosas (fiebre tifoidea, enteritis por rotavirus, paludismo, malaria, hepatitis y lepra). Durante el periodo de 1982 a 1990 el 17 por ciento de las publicaciones en revistas internacionales estaban relacionadas con este campo de actividad (Figura 3).

También existen intentos por desarrollar vacunas contra tétanos, rotavirus y toxina de alacrán. Esta última se basa en el estudio de la estructura de las toxinas de alacranes mexicanos.

La experiencia en el área de bioquímica de toxinas de alacrán y de reptiles está vinculada al desarrollo de la nueva farmacología molecular, toda vez que las toxinas han sido herramientas cruciales en el estudio de los canales iónicos (sodio, potasio, calcio) y de una serie importante de funciones del organismo. El 20 por ciento de los artículos en revistas internacionales corresponden a esta área.

Los esfuerzos de investigación dirigidos a la producción de insulina humana, al desarrollo de cepas hiperproductoras de la enzima penicilino acilasa y al desarrollo de un analizador enzimático para la cuantificación de compuestos orgánicos en usos clínicos, han generado, cada uno, el 3 por ciento de los artículos publicados durante la década pasada.

El 45 % de la producción científica en este periodo se ubica en proyectos de investigación que no proponen explícitamente el uso de este conocimiento dentro de algún campo de actividad específico (28 % corresponde a los estudios sobre bioquímica bacterias y de virus y 17 % corresponde a las investigaciones en neurociencias enfocadas al estudio de las neuronas peptidérgicas).

(1982 - 1990)

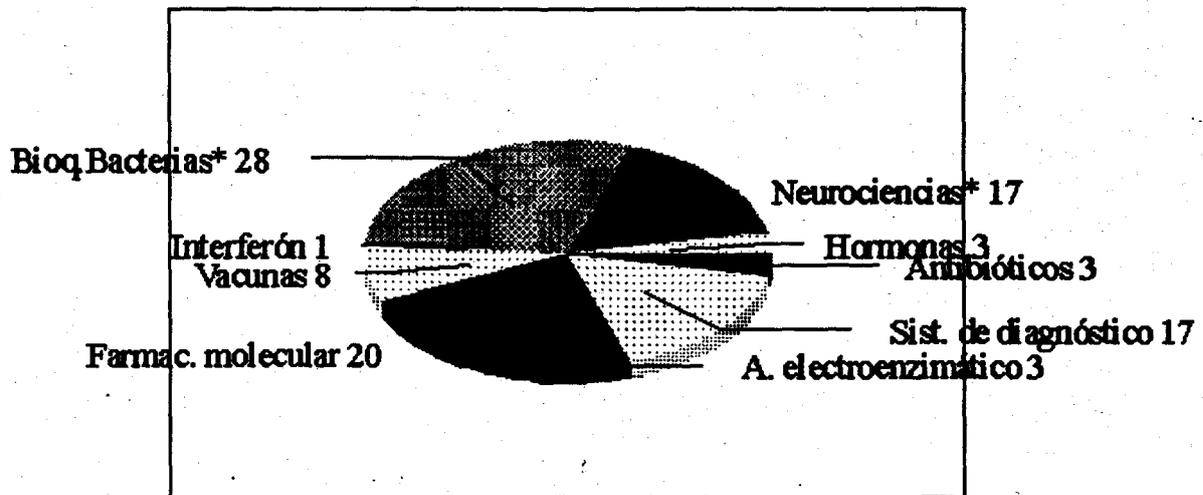


Fig.3. Distribución porcentual por campo de actividad del número de artículos publicados en revistas internacionales durante el periodo de 1982 a 1990. Durante este periodo, el 55 % de los estudios publicados estaban relacionados con algún campo de actividad, con una mayor concentración en el diseño de sistemas de diagnóstico y la farmacología molecular. *Los estudios fundamentales sobre bioquímica de bacterias y neurociencias, que no se inscriben en sentido estricto en un campo de actividad, representaron en conjunto el 45 % de la producción científica en este periodo.

Estos datos sugieren que predominan los estudios que se inscriben dentro de algún campo de actividad específico (55 %). Esta primer imagen de la importancia relativa que tuvo cada una de estas áreas durante la década de los ochenta, a juzgar por el número de artículos publicados, revela que los estudios orientados directamente hacia posibles aplicaciones se enfocaron hacia el desarrollo de sistemas de diagnóstico de enfermedades infecciosas y hacia la naciente farmacología molecular.

Esta imagen se modifica si en vez de artículos en revistas se consideran los informes técnicos. Estos productos están asociados a los convenios y donativos que surgen del vínculo entre el Instituto con empresas y agencias nacionales e internacionales. Por un lado,

aumenta la proporción de productos inscritos dentro de algún campo de actividad (67 %). Por otro lado, estos estudios se enfocaron hacia los sistemas de diagnóstico y el diseño de vacunas. En este rubro aumenta la importancia que se le concede a la producción de antibióticos y disminuye la de la farmacología molecular (en esta última se trata principalmente de informes a empresas farmacéuticas alemanas). (Fig. 4).

Informes técnicos por campo de actividad

(1982 - 1990)

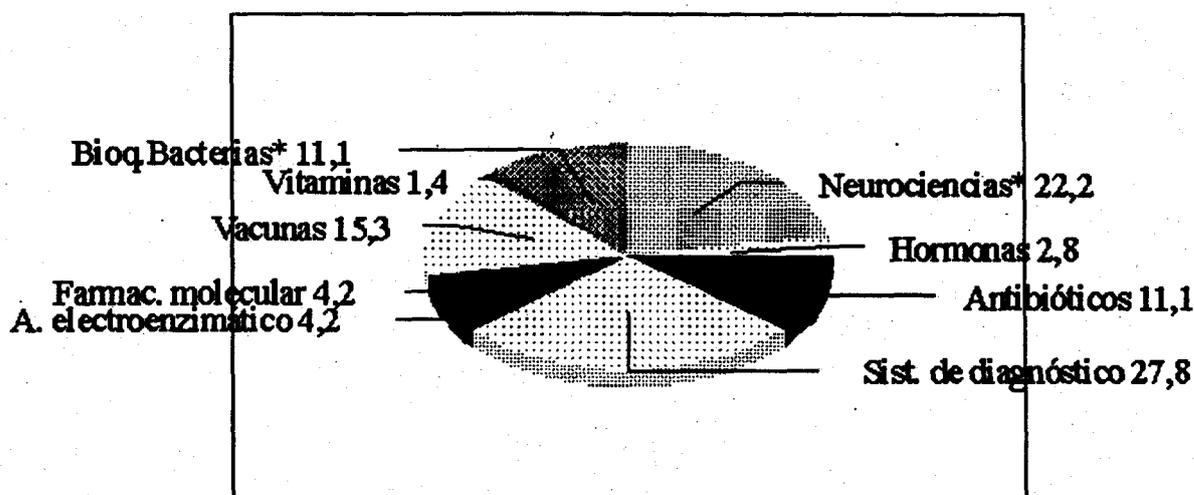


Fig. 4. Distribución porcentual por campo de actividad del número de informes técnicos reportados durante el periodo de 1982 a 1990. Durante este periodo, el 77.8 % de los estudios publicados estaban relacionados con algún campo de actividad de la biotecnología, con una mayor concentración en el diseño de sistemas de diagnóstico y de vacunas.

A juzgar por el número de publicaciones se observa que existen tres categorías tecnológicas que han focalizado los esfuerzos de investigación científica y tecnológica del Instituto: sistemas de diagnóstico, vacunas y farmacología molecular. Por otro lado, se identifican cuatro categorías tecnológicas que se encuentran deprimidas y quizá algunas de ellas en proceso de "extinción": antibióticos, insulina, interferón y analizador enzimático.

Llama la atención que en la zona deprimida se encuentran algunos de los pocos medicamentos de base biotecnológica que se empezaron a reportar a partir de 1991 en los mercados de Estados Unidos, Japón y Europa. Tomando en cuenta que estos desarrollos arrancaron con la creación del centro, lo anterior puede sugerir que ocurrió un abatimiento estratégico asociado a una débil oportunidad de competir con las empresas transnacionales en estos desarrollos. No obstante que han proliferado las pruebas de diagnóstico en los mercados de los países desarrollados se podría explicar la mayor concentración de esfuerzos en esta área debido a que quizá exija desarrollos menos complejos a los de estos agentes terapéuticos y a que no necesitan pasar por los estrictos exámenes de seguridad que se requieren para las drogas de aplicación en seres humanos.

Con base en esta racionalidad se entendería que el gran despliegue de la farmacología molecular se deriva fundamentalmente de su aún incipiente desarrollo a nivel mundial ("ventana de oportunidad") y de su gran potencialidad en el tratamiento de padecimientos crónico-degenerativos. Empero, estas ideas tendrían que tener como sustento la tesis de que la dirección del progreso científico y tecnológico en este tipo de instituciones estuviere determinado por una racionalidad que sólo obedece a fuerzas económicas. No siendo la única explicación posible conviene examinar la posible relación de este confinamiento con los factores de selección que se han enunciado en las dos hipótesis de trabajo de este estudio.

V.3. Catalizadores de la producción científica y tecnológica.

La concentración de artículos científicos en determinados campos de actividad puede deberse a una múltiples factores. Se ha propuesto que las innovaciones tienen un efecto catalítico en el dinamismo y orientación de la investigación científica y tecnológica en una determinada trayectoria. Este efecto puede revelar si existe un proceso de endogenización de la actividad científica al proceso competitivo de las empresas, es decir, si la actividad científica se articula con el proceso de acumulación tecnológica que ocurre al interior de la industria. Se puede medir este efecto catalítico a través del examen comparativo del peso relativo de la producción científica en cada campo de actividad (Figura 5a) en conjunción con el crecimiento de la producción científica, medido en términos de la variación porcentual promedio del número de artículos publicados, en cada uno de los campos de actividad, durante todo el periodo (Figura 5b).

El único caso en el que se puede hablar de innovación (la producción de la enzima penicilino acilasa) lejos de acelerar la producción científica y tecnológica relacionada con los antibióticos antecedió a un proceso de decaimiento de esta trayectoria tecnológica (tuvo una variación porcentual promedio con valor negativo (-10 %) y una producción científica por debajo

del promedio. La vida efímera de la empresa Genin, S.A.⁹³ a quien se transfirió esta tecnología quizá haya contribuido a desactivar esta área, pues al parecer la intención de realizar estos desarrollos estuvo asociada casi exclusivamente a los requerimientos tecnológicos de esta empresa.

Es poco probable que se haya desalentado el desarrollo de esta categoría tecnológica por considerar que es muy poco lo que se puede innovar. Además de la resistencia bacteriana existen otros retos muy importantes para obtener mejores antibióticos.⁹⁴

Sin embargo, es posible que los desarrollos tecnológicos puntuales (la penicilina acilasa y el analizador electroenzimático) no involucren soluciones técnicas que impongan un reto intelectual a los científicos o no les permitan sumarse a los debates de actualidad que se esgrimen en las revistas especializadas.

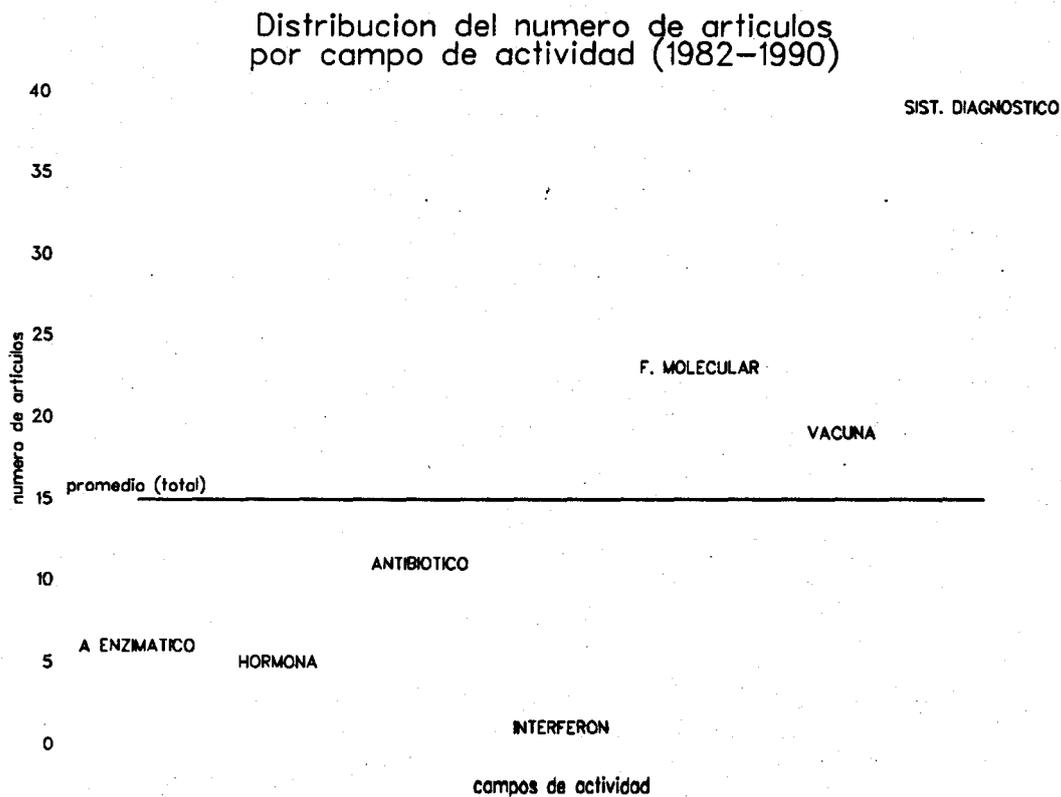


Fig. 5a. Distribución del número de artículos publicados por el IBT-UNAM de 1982 a 1990 por campo de actividad. Se compara el peso relativo de la producción en cada campo con la producción promedio de todo el periodo con respecto al número de campos de actividad. Los campos de actividad de mayor importancia relativa, con una producción científica por arriba del promedio, fueron los sistemas de diagnóstico, las vacunas y la farmacología molecular.

⁹³ O. Vera-Cruz, A., Gonzalez, R.L. y Solleiro, J.L. (1992)

⁹⁴ Véase, Ruíz, R. y Segitore, L. (1984)

Variación porcentual promedio de número de artículos por campo de actividad

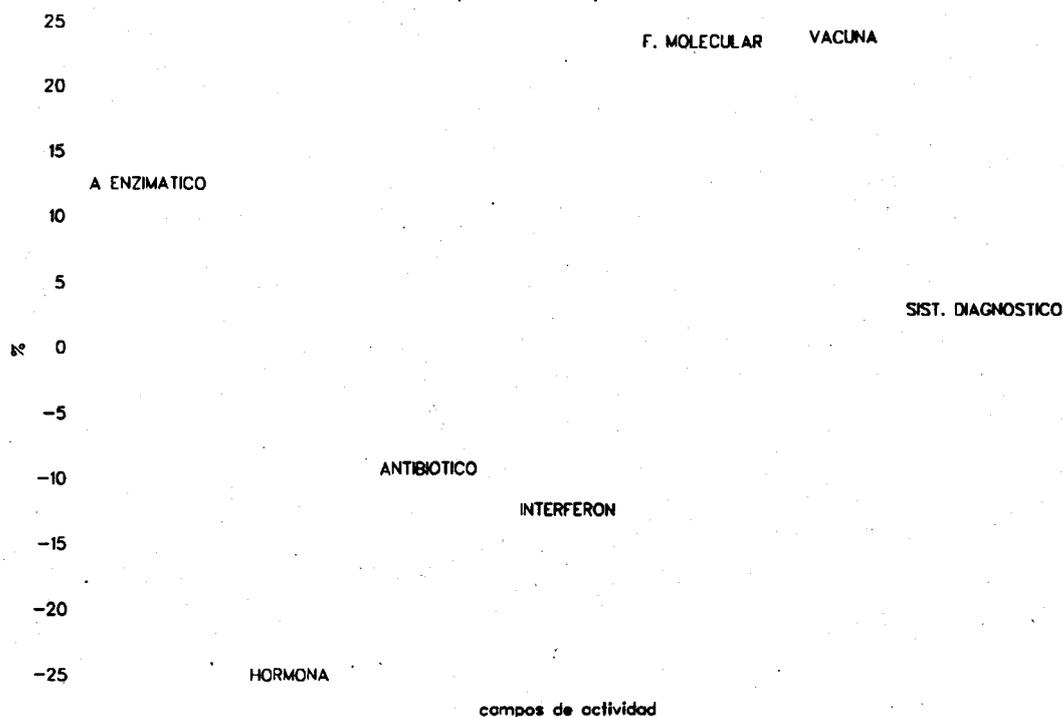


Fig. 5b. Variación porcentual promedio del número de artículos publicados en el IBT-UNAM de 1982 a 1990 en cada campo de actividad. Los campos de actividad de mayor dinamismo fueron los sistemas de diagnóstico, las vacunas y la farmacología molecular. Si bien el desarrollo del analizador electroenzimático presenta una variación porcentual promedio positiva tiene una producción científica por debajo del promedio según se observa en la figura anterior (5a).

Un caso muy interesante es el de la producción de insulina humana sintetizada por bacterias. En 1982 se estableció un convenio con la Secretaría de Salud para realizar este proyecto; empero, a pesar de que se sigue trabajando en esta dirección sólo se han generado de manera aislada un par de publicaciones y sendos desarrollos tecnológicos. Este ha sido un campo poco dinámico en el Instituto, a juzgar por estos indicadores, que contrasta con las expectativas que se pudieron haber creado en torno a este producto.

Los campos de actividad más dinámicos (con variaciones porcentuales promedio positivas y una producción científica superior al promedio) fueron los sistemas de diagnóstico, las vacunas y la farmacología molecular. Estos emergieron en 1986 sin ser precedidas ni antecedidas por alguna innovación.

Estos resultados no son consistentes con la hipótesis de que las innovaciones tienen un

efecto catalítico en el dinamismo y orientación de la investigación científica y tecnológica en una determinada trayectoria en este centro dinamizador.

La independencia que existe entre el proceso de focalización de la actividad científica del IBT en determinados campos de actividad con respecto al proceso de acumulación tecnológica de la industria hace suponer que la generación de nuevo conocimiento en este centro dinamizador se desenvuelve como un factor exógeno al proceso competitivo.

El IBT también se ha sumado al interés creciente que existe a nivel internacional por proteger los conocimientos que surgen de las actividades de pesquisa en el campo de la biotecnología moderna a través las patentes. Hasta 1991 se habían registrado 4 patentes (todas ellas relacionadas con el área de la salud) y 19 procesos eran susceptibles de registro por propiedad y sus patentes estaban en trámite (8 corresponden al área de la salud).

Sin embargo, la existencia de patentes en uno de los campos de actividad más dinámicos, pero en los que no existen convenios de colaboración con la industria (sistemas de diagnósticos) y de desarrollos tecnológicos en campos de actividad en los que tampoco se han suscrito convenios con empresas (sistemas de diagnóstico, vacunas y hormonas) sugiere que la dinámica de la actividad científica y tecnológica en estos campos está regida por factores distintos a las expectativas de mercado.

"...El trabajo en el laboratorio ha redituado en un sistema de diagnóstico rápido para fiebre tifoidea. Hemos obtenido una patente por parte del gobierno mexicano para el diagnóstico de la fiebre tifoidea y se halla en trámite una solicitud similar en los Estados Unidos. La patente tiene que ver con los procedimientos bioquímicos que usaron para purificar las membranas externas de las bacterias de tal manera que sean reconocidas eficientemente por los anticuerpos de los pacientes con fiebre tifoidea. No obstante, hasta este momento no se ha transferido la tecnología a alguna empresa. Como investigadores nosotros patentamos para proteger el conocimiento generado en esta Universidad, pero sin proponernos la comercialización del producto. Si se comercializa qué bueno, pero para nosotros esto es algo secundario. Es muy importante que las empresas se interesen en este tipo de desarrollos. Es necesario que se promueva una mayor interacción entre las universidades y la industria en nuestro país..." Edmundo Calva. Entrevista personal. realizada en el IBT-UNAM en junio de 1994.

Este planteamiento es coherente con la definición de las funciones de la universidad. Sin embargo, es interesante observar la convergencia o divergencia de sus esfuerzos de investigación con respecto al proceso de innovación. Este proceso está ligado íntimamente a la relación que

CONVENIOS CATEGORIA TERAPEUTICA

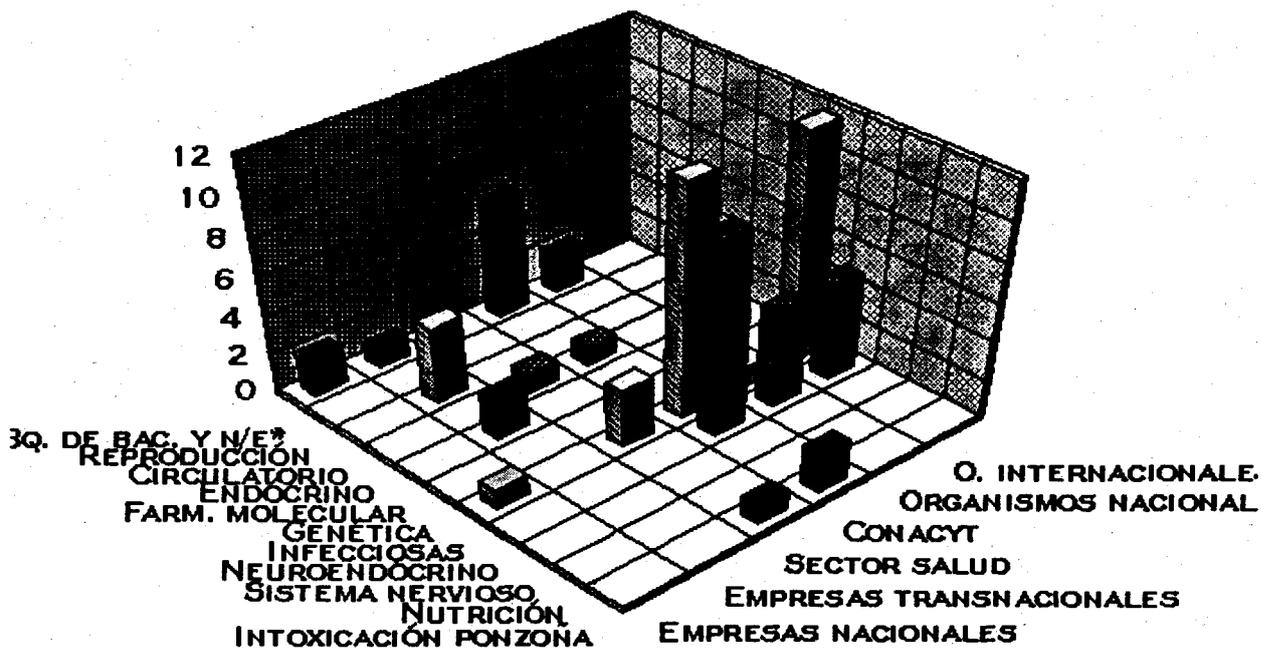


Fig. 7. Distribución del número de convenios establecidos por el IBT de 1982 a 1990, de acuerdo con el tipo de organización participantes. Se identifican las categorías terapéuticas relacionadas con los estudios que se realizaron a partir de los convenios. Se observa un mayor respaldo para los estudios relacionados con las enfermedades infecciosas y para las investigaciones fundamentales en el campo de la neurobiología y sus posibles aplicaciones.

Se advierte que si bien el proceso innovativo y el proceso de selección de campos de actividad, y de posibles desarrollos tecnológicos, no están articulados orgánicamente (son procesos independientes) ambos están condicionados en parte por la naturaleza de los puentes institucionales que tiende el IBT.

Estos puentes institucionales han configurado una estructura de financiamiento y de compromisos de investigación que quizá en algunos casos induzca la selección de determinados campos de actividad (a través de los programas de la OMS para el desarrollo de vacunas específicas^{95, 96}, por ejemplo). Empero, la mayor parte de las agencias internacionales tienen

⁹⁵ Véase por ejemplo, "Cooperación técnica en biotecnología aplicada a la salud en América Latina (1989)

⁹⁶ Véase por ejemplo, "Proyecto para la creación de un sistema regional latinoamericano de vacunas" (1991)

previstos fondos para fomentar la ciencia de los países en desarrollo cuya asignación se basa en la calidad de los proyectos y en el reconocimiento al prestigio de los investigadores; debido a que el prestigio está íntimamente ligado a la producción científica y a su impacto, medido en número de citas, es que se habla de la existencia de un círculo virtuoso de la investigación científica. Las agencias han identificado a la biotecnología como una de las áreas de mayor potencial para resolver sus problemas. Este financiamiento externo, que es fundamental para el fortalecimiento de la capacidad científica de estos países, no ha debilitado, en el caso de México, la coherencia de la política de ciencia interna. En todo caso este financiamiento ha favorecido el desarrollo de las capacidades científicas y tecnológicas de éste y de otros centros dinamizadores dentro de un esquema liberal de desarrollo de la ciencia; sin embargo, es posible que la exigua participación de las empresas dentro de esta estructura de financiamiento conduzca a que los campos de actividad seleccionados se desenvuelvan sustentados en ciencia de indiscutible calidad, pero al margen de los factores claves de éxito del proceso innovativo.

Es posible que se obtengan tecnologías que ofrezcan mayor eficiencia y eficacia a las ya existentes, pero que aún así no tengan fuerza suficiente para desplazarlas dentro de la estructura productiva simplemente porque no existe una conexión directa entre las actividades del instituto y los intereses y expectativas de quienes pueden utilizar estas tecnologías con fines de producción y de comercialización.

"...Quien pudiera estar interesado en el desarrollo de la vacuna antialacrán en México es la Secretaría de Salud. Ella se encarga a través del Instituto Nacional de Higiene de elaborar los sueros antialacrán. Y aunque hemos propuesto mejoras a los antígenos es muy difícil cambiar la visión que ya existe. Por otro lado, no existe una empresa nacional que esté interesada en el desarrollo de la vacuna; quizá porque ya existe un suero que resuelve el problema..." Lourival D. Possani. Entrevista personal. realizada en el IBT-UNAM en junio de 1994.

Es posible que se estén trazando senderos tecnológicos al margen de las señales del mercado.

"...Si hubiera una compañía interesada seriamente en explotar este desarrollo nosotros contribuiríamos porque tenemos el *know how*. Y estaríamos más dispuestos a interaccionar si participan los institutos de salud. Empero, no hay una búsqueda activa ni una motivación para que modifiquen sus protocolos; los que tienen les ha funcionado. Los investigadores mexicanos que estamos haciendo investigación de primera estamos ansiosos por encontrar

empresarios mexicanos que estén dispuestos a realizar estos desarrollos. Hay muchas cosas que se pueden hacer para ganar dinero; se requiere de voluntad..." Lourival D. Possani. Entrevista personal...

No obstante, existe un interés explícito por desarrollar tecnología biológica competitiva.

Una vez que los investigadores incorporan la noción de demanda potencial de los productos que se pudiesen derivar de los estudios, determinan el tamaño del mercado potencial de estos productos. En función de ello intentan resolver problemas técnicos asociados a los niveles de producción. Sin embargo, se advierte que la preocupación se centra en la solución de problemas relacionados con la eficacia y eficiencia de los productos.

"...Con respecto al desarrollo de posibles vacunas antialacrán, hemos logrado desarrollar una vacuna experimental en ratones. Empero, aún es necesario resolver algunos problemas para poder desarrollar una vacuna que se pueda aplicar en seres humanos. Es difícil conseguir la cantidad suficiente de veneno para el número de dosis que se requieren: 13 millones en la república mexicana. Decidimos realizar la síntesis química de las proteínas que son tóxicas. De esta manera podríamos evitar los posibles efectos colaterales que podría tener un producto no controlado. Después vimos que la respuesta inmune no era la misma que cuando usábamos el componente nativo. Entonces tratamos de reproducir los segmentos de la proteína con base en el estudio del reconocimiento de los péptidos tóxicos por parte del sistema inmune. Recientemente clonamos los genes que son responsable de la síntesis de las toxinas de alacrán y estudiamos las condiciones para la producción de proteínas híbridas, no tóxicas, para el posible desarrollo de nuevos programas de vacunación...." L.D. Possani. Entrevista personal.

"...Las proteínas que nos provee la naturaleza no están optimizadas para trabajar en un proceso o producto de utilidad social. Pensemos en la insulina que utiliza cierto tipo de diabéticos. A partir de las técnicas de biología molecular se pudo obtener insulina al introducir el gene humano en una bacteria para que éste la produjera. Un triunfo, sin embargo no fue satisfactorio. Como la insulina no se estaba produciendo en las células del páncreas presentaba una estructura cristalina de seis moléculas, un hexámero, cuya farmacodinámica no era la óptima. Ante esto, se tomó el gene de la insulina humana y se le alteró a través de técnicas de DNA recombinante para obtener una insulina ligeramente diferente que se disuelve con más rapidez y con una farmacodinámica más atractiva..." Xavier Soberón. Entrevista personal realizada en el IBT-UNAM en enero de 1993.

Los investigadores también destacan las ventajas técnicas de los nuevos desarrollos en relación a las tecnologías que ya existen en el mercado.

"...Hemos diseñado un sistema de diagnóstico para fiebre tifoidea. En este momento existen dos tipos de pruebas para diagnosticar esta enfermedad gastrointestinal. Las pruebas febriles son rápidas, pero no son muy específicas, pues se obtienen resultados positivos en algunas personas que no tienen fiebre tifoidea; no es una prueba confiable. El cultivo de la sangre es una prueba más confiable, pero se requiere más tiempo y una cantidad relativamente abundante de sangre para obtener el resultado: tres jeringas de diez mililitros tomadas con intervalos de media hora y dos días de espera después de que la sangre fue sembrada en el medio de cultivo. Nosotros hemos diseñado una prueba de diagnóstico que requiere sólo de unos microlitros de sangre y con la que se obtienen resultados cuatro horas después de que se tomó la muestra..." Edmundo Calva. Entrevista personal....

"...Actualmente existe suero antialacrán que es muy efectivo. Pero una vacuna está lista antes del padecimiento y permite al individuo desarrollar sus propias defensas contra la toxina, mientras que el suero se aplica después de un piquete y si no está disponible puede ocurrir un deceso, esto es más probable en los rincones más apartados del país en donde no hay un centro médico cercano..." L.D. Possani. Entrevista personal...

Se está cumpliendo con el propósito de desarrollar tecnología competitiva técnicamente, aunque como un factor exógeno al proceso competitivo de la industria.

El hecho de que la generación de nuevo conocimiento en el IBT se desenvuelve como un factor exógeno al proceso competitivo revela que el proceso de selección de campos de actividad no está vinculado a la búsqueda de la utilidad económica del conocimiento. Si se acepta que la dinámica del trabajo intelectual del instituto está regulada por la estructura de incentivos del complejo institucional se puede presumir que en el IBT esta dinámica ha sido regulada en mayor medida por los criterios de valoración del trabajo intelectual por parte de quienes subvencionan esta actividad. El cuadro 5 y la figura 8 muestran que el proceso de focalización de la actividad científica puede estar asociado a la subvención que realizan las agencias y las empresas transnacionales en favor de algunas investigaciones. El financiamiento para los estudios sobre los sistemas de diagnóstico proviene primordialmente de las agencias internacionales como la ONUDI, la OMS y la OEA, mientras que los recursos para el diseño de vacunas provienen principalmente del Conacyt. Con respecto a la farmacología molecular, llama la atención su gran dinamismo siendo que hasta 1990 sólo existían convenios con una empresa alemana en el

campo de la farmacología molecular y con ninguna agencia. Esto último indica que la dinámica de investigación del instituto es sensible a la demanda explícita de conocimientos del sector industrial.

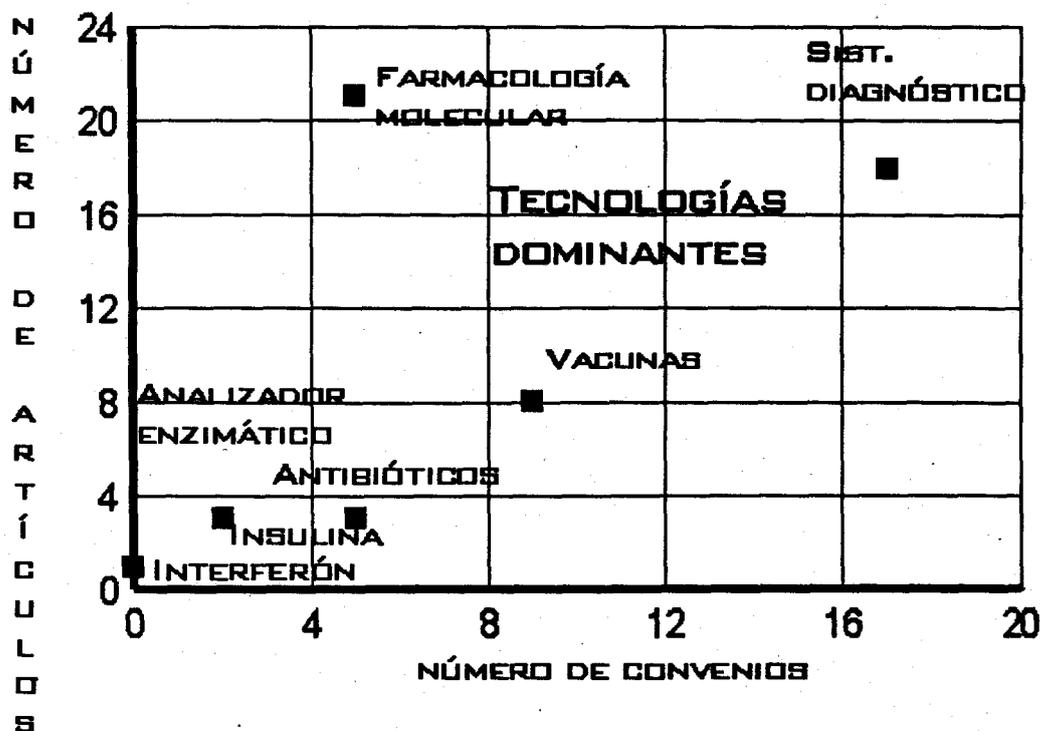


Fig. 8 Perfil de la selección tecnológica del IBT por campos de actividad. Existe una mayor disponibilidad científica y tecnológica, medida en términos de la producción científica y tecnológica reportada en revistas especializadas, en los campos de actividad en que se suscriben el mayor número de convenios con agencias y empresas. El diseño de sistemas de diagnóstico, de vacunas y de modelos biológicos relacionados con la nueva farmacología molecular constituyen los campos de actividad dominantes en el Instituto.

Ahora bien, es posible que se consideren estudios de alta calidad o de excelencia a aquellos que reporten conocimientos próximos al "estado del arte"; aunque quizá los aspectos que adquieren mayor relevancia en la valoración de un trabajo científico corresponden al problemas de la validez del conocimiento, es decir, a conceptos epistemológicos de verdad, validez, racionalidad, etcétera. En todo caso en una estructura liberal del desenvolvimiento de la actividad científica sobrevive la ciencia de "excelencia", juzgada y certificada socialmente por los propios científicos; pero ello no explica, entonces, que a partir de ello también se induzcan los campos de

actividad. Así como se ha hablado de la relativa autonomía del desarrollo científico y tecnológico con respecto a las fuerzas económicas tendría que hablarse de una relativa autonomía con respecto a las fuerzas sociales en general. Sin embargo, esto tiene que explorarse con más detenimiento, sobre todo si se tomamos en cuenta que los modelos de desarrollo de la ciencia propuestos por la moderna sociología de la ciencia se desprenden de las relaciones que se han observado entre la dinámica del proceso intelectual con estructuras sociales específicas.⁹⁷

Cuadro 5

	<i>Diagnóstico</i>	<i>Vacunas</i>	<i>Farm. molecular</i>	<i>Antibióticos</i>	<i>Insulina</i>	<i>Interferón</i>	<i>Analizador enzimático</i>
<i>Año de despegue</i>	1986	1986	1986	1982	1982	1985	1986
<i>Publicaciones</i>	18	8	21	3	3	1	3
<i>C. Agencias</i>	10	0	0	2	0	0	0
<i>C Conacyt</i>	5	7	0	2	1	0	0
<i>C. Sec. Salud</i>	1	2	0	0	1	0	0
<i>C. Empresas</i>	1	0	5	1	0	0	2
<i>Des. Tec.</i>	6	1	1	4	3	1	1
<i>Patentes</i>	1	0	2	8	0	0	1
<i>Transf. Tec.</i>	0	0	0	4	0	0	0
<i>Rango Morbilidad</i>	1-4-7-8	1-2-8	2	1	2	1-2	-

Cuadro 5. Número de productos de la investigación científica y tecnológica en el IBT de 1982 a 1990.-

⁹⁷ Olive, L. (1985)

V.4. . El patrón de morbi-mortalidad y la orientación de la investigación en el IBT.

En un estudio previo⁹⁸, acerca del papel de los centros dinamizadores en la estructuración del subsistema nacional de biotecnología, se advirtió la posibilidad de que la investigación biotecnológica, pero en el sector agrícola estudiéase atendiendo temas que primordialmente son relevantes para la economía de los países de mayor dinamismo científico, y en donde se editan las revistas que certifican el conocimiento. Existe un gran interés de los científicos por participar en los temas que son más debatidos a través de la literatura especializada a nivel mundial. Este interés obedece a la alta valoración que se otorgan las agencias que subvencionan la investigación a la producción científica de los investigadores certificada por las revistas internacionales. En caso de que este mismo fenómeno estuviese ocurriendo en el área de la salud se esperaría una inducción por parte del sistema de evaluación de la actividad académica hacia el estudio de padecimientos que presentan una mayor incidencia en los países desarrollados. Esto implicaría, además, que la investigación de los centros dinamizadores reforzarían la orientación actual de la I-D de las empresas farmacéuticas transnacionales.

En forma explícita se ha identificado a la demanda con el patrón de morbi-mortalidad en los estudios que explican la orientación de la I-D en las empresas farmacéuticas. Es posible que en la academia se establezca más bien una relación entre el patrón de morbilidad y las necesidades de I-D más apremiantes y que a esta relación se incorpore, de manera accesoria, una noción de demanda. Esto último puede obedecer a un proceso de consonancia cognoscitiva que en este caso permitiría justificar la intención de desarrollar tecnología útil para la atención de esos padecimientos.

Si se asume que fuéese distinto el patrón de morbi-mortalidad en los países desarrollados con respecto a los países en desarrollo, se esperaría que los intentos por realizar estudios sobre padecimientos de interés local entrarían en contradicción con la pretendida inducción, por parte del sistema de evaluación, hacia la investigación biotecnológica sobre padecimientos más relevantes en otras latitudes.

El análisis detallado de los productos de la investigación científica y tecnológica del Instituto de Biotecnología y de las áreas que impactan en el campo de la salud permite despejar algunas de las interrogantes en torno al problema que se ha planteado.

En la figura 9 se observa que predomina la publicación de artículos en revistas internacionales en cada una de los campos de actividad identificadas en este estudio. Destacan, por su mayor dinamismo, los sistemas de diagnóstico y la farmacología molecular.

⁹⁸ Oliveira, A., Villa Soto, J.C. y Villegas, A. (1994)

PUBLICACIONES E INFORMES TECNICOS CAMPOS DE ACTIVIDAD

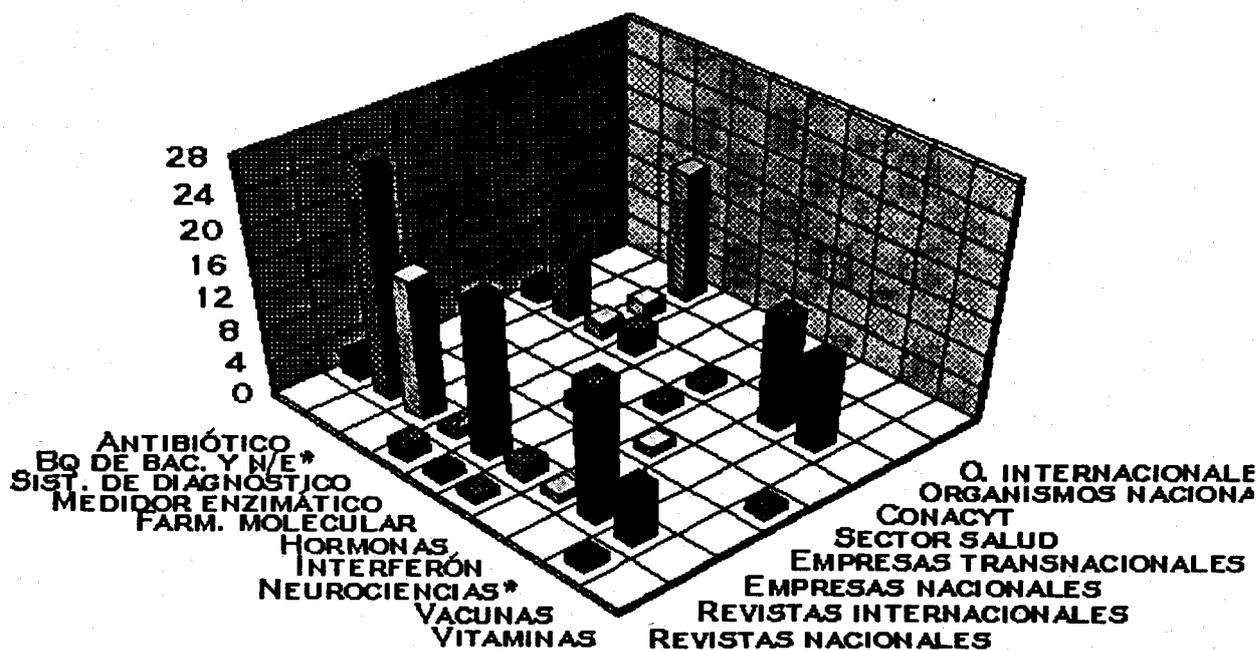


Fig. 9. Distribución del número de artículos por campo de actividad reportados por el IBT de 1982 a 1990 de acuerdo al tipo de publicación, y distribución del número de informes técnicos por organismo destinatario en el mismo periodo. Predominan los artículos en revistas internacionales en cada uno de los campos de actividad. Destacan por su mayor dinamismo los estudios relacionados con los sistemas de diagnóstico, las vacunas y la farmacología molecular, así como los estudios fundamentales sobre bioquímica de bacterias y neurociencias. El número de informes técnicos también se concentra en estos mismos campos de actividad. Los estudios relacionados con los sistemas de diagnóstico son reportados principalmente a agencias internacionales; los asociados a la bioquímica de bacterias, neurociencias y vacunas son reportados principalmente al Conacyt; y los estudios relacionados con el concepto de farmacología molecular, con empresas transnacionales.

Después de analizar los estudios que explícitamente refieren una orientación hacia algún campo de actividad no podemos afirmar que lo que se publica en las revistas internacionales es ajeno a las problemas terapéuticos que existen en México. Aunque en sentido estricto todas las categorías terapéuticas que se abordan en estos estudios se relacionan con el patrón de morbilidad y de mortalidad que existe en nuestro país, destaca la alta producción científica en torno a las enfermedades infecto-contagiosas. Todos los artículos que versan directa

o indirectamente sobre el desarrollo de sistemas de diagnóstico y de vacunas para enfermedades infecciosas se han publicado en revistas internacionales (Figura 10). Incluso las investigaciones sobre la vacuna antitoxina de alacranes mexicanos, que enfrentan un problema aún más localizado, también se han reportado en revistas especializadas de corte internacional.

PUBLICACIONES E INFORMES TECNICOS CATEGORIA TERAPEUTICA

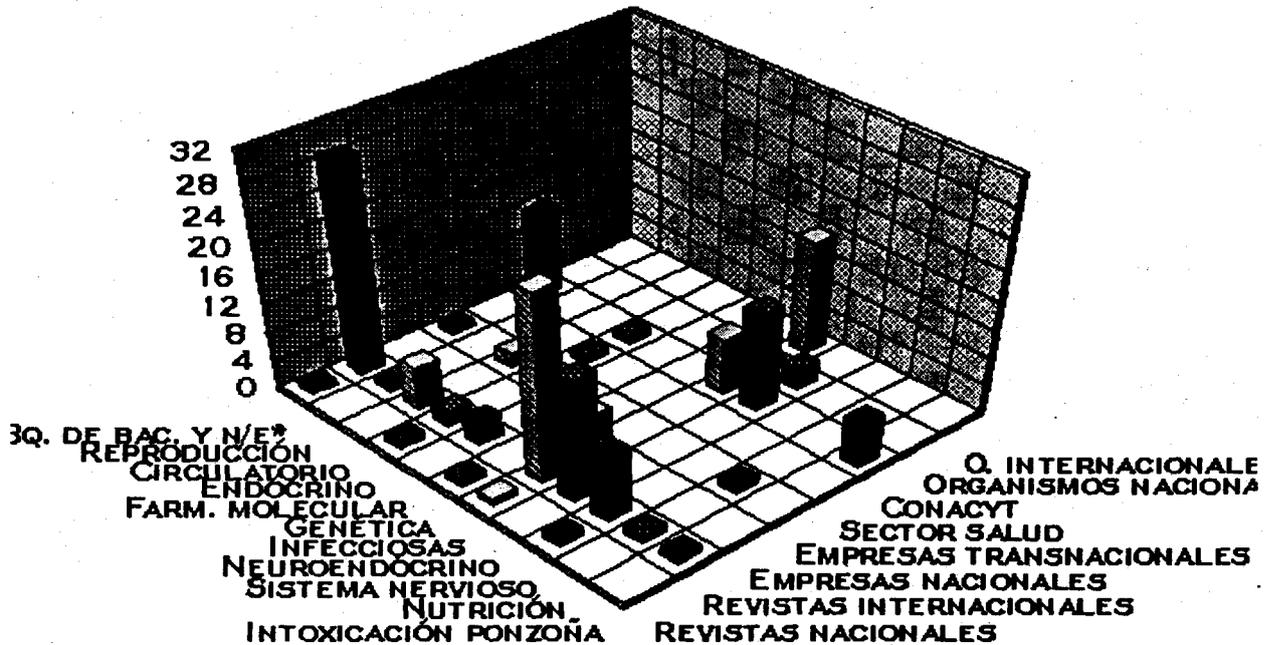


Fig. 10. Distribución del número de artículos por categoría terapéutica reportados por el IBT de 1982 a 1990 de acuerdo al tipo de publicación, y distribución del número de informes técnicos por organismo destinatario en el mismo periodo. Predominan los artículos en revistas internacionales en cada uno de los tipos de padecimientos. Destacan por su mayor dinamismo los estudios relacionados con las enfermedades infecciosas y del sistema neuroendócrino (en función de las aplicaciones potenciales de los conocimientos fundamentales del área de neurociencias), así como los estudios sobre bioquímica de bacterias. El número de informes técnicos también se concentra en estos mismos campos de actividad. Los estudios relacionados con las enfermedades infecciosas son reportados principalmente a agencias internacionales y al Conacyt; los asociados a la bioquímica de bacterias y neurociencias son reportados principalmente al Conacyt; y los estudios relacionados con las enfermedades del aparato circulatorio, a empresas transnacionales.

Los informes técnicos revelan que una parte importante del apoyo a los estudios relacionados con el diseño de sistemas de diagnóstico para enfermedades infecciosas proviene de las agencias y organismos internacionales (ONUDI, OEA, OMS, OPS y Fundación

Rockefeller). Estos datos sugieren que la espiral virtuosa de la investigación científica se desenvuelve, en este caso, sobre una categoría terapéutica de primera importancia en nuestro país.

En términos generales el 53 % de los estudios que realizó el Instituto en el área de salud durante la década pasada se enfocaron a enfermedades infecto-contagiosas (sistemas de diagnóstico fundamentalmente); 15 % al estudio del sistema neuroendócrino; 8 % a enfermedades del aparato circulatorio; 9 % a enfermedades del sistema nervioso central (farmacología molecular); 7 % a intoxicación por ponzoña de animales (vacuna antitoxina de alacrán); 5 % a diabetes (producción de insulina); y 3 % a enfermedades genéticas (detección de fibrosis quística) (Figura 11).

Distribución porcentual del número de artículos por categoría terapéutica (1982 - 1990)

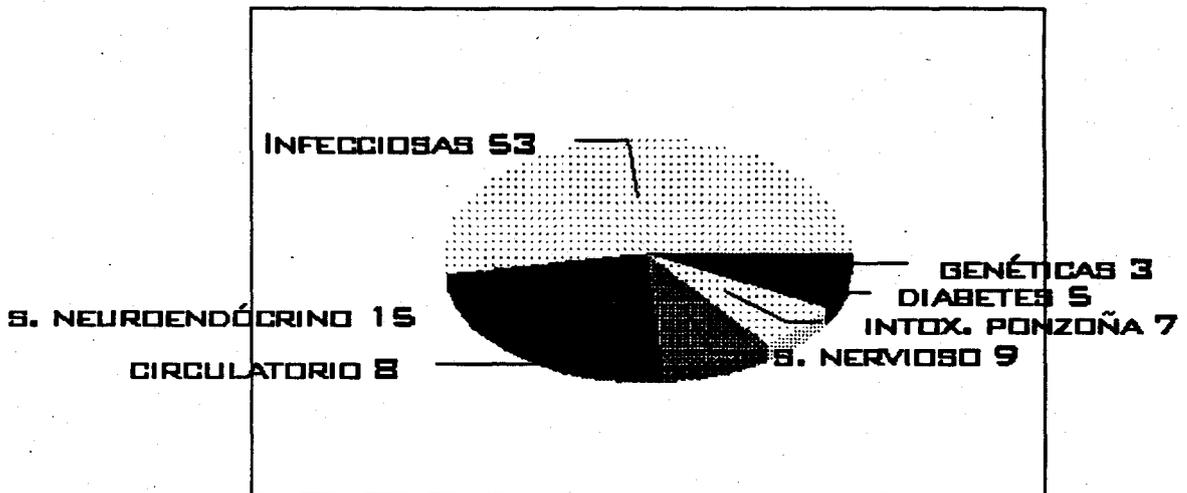


Fig. 11. distribución porcentual por categoría terapéutica de los artículos publicados por el IBT de 1982 a 1990. La mayor proporción se concentró en torno a las enfermedades infecto-contagiosas.

La relevancia de los padecimientos, en términos de incidencia y letalidad, es uno de los factores que los investigadores toman en cuenta para seleccionar los temas de

"...Existen diferentes criterios para elegir una enfermedad como tema de estudio. En el caso de la *Salmonella typhi*, agente causal de la fiebre tifoidea, es una bacteria muy invasiva y por lo tanto muy peligrosa. Además se ha realizado poco trabajo en esta área. También hemos estudiado *Campylobacter jejuni*, que no es tan peligrosa como la salmonella, pero es muy frecuente y afecta principalmente a niños pequeños..." Edmundo Calva. Entrevista personal...

"...El alacranismo es un problema de salud pública en nuestro país. Por lo menos 200 mil personas son picadas por alacranes venenosos cada año, ocasionando cerca de 800 muertes..." L.D. Possani. Entrevista personal...

Este criterio de selección podría explicar, en parte, la concentración de estudios en los padecimientos infecto-contagiosos que presentan una alta incidencia en México y en países con un similar nivel de desarrollo.

Sin embargo, en México se está registrando una transición epidemiológica que consiste en un crecimiento en la importancia relativa de padecimientos que no eran tan frecuentes en nuestra población (padecimientos crónico-degenerativos), aunque sin un abatimiento de las enfermedades infecto-contagiosas. También han surgido nuevamente enfermedades que se creían erradicadas como el paludismo y el cólera.¹⁰⁰

Los estudios relacionados con el desarrollo de la farmacología molecular se ubican dentro de un campo de actividad que se pensaba pudiese ser inducido con mayor fuerza por el sistema de evaluación por la relación directa que tiene con el tratamiento de padecimientos de alta incidencia en los países desarrollados.

"...Las toxinas que estudiamos modifican la comunicación celular y son útiles como herramientas para el desarrollo de fármacos. Descubrimos que una toxina, la noxitoxina, bloquea el ión potasio que es muy importante para la excitabilidad celular. Con base en el estudio de estas toxinas se puede tener un modelos para desarrollar drogas que útiles en problemas cardíacos. En los países más desarrollos la primera causa de muerte es un paro cardíaco. Esto explica el interés de las compañías transnacionales por estos modelos de estudio de la excitabilidad celular..." L. D. Possani. Entrevista personal...

⁹⁹ Possani, L.D. (1992)

¹⁰⁰ Cruz, C. Faba, G., Martuscelli, J. y Sánchez, E. (1993)

Sin embargo, esto no excluye que el mayor dinamismo obedeciera a la transición epidemiológica que ocurre en México.

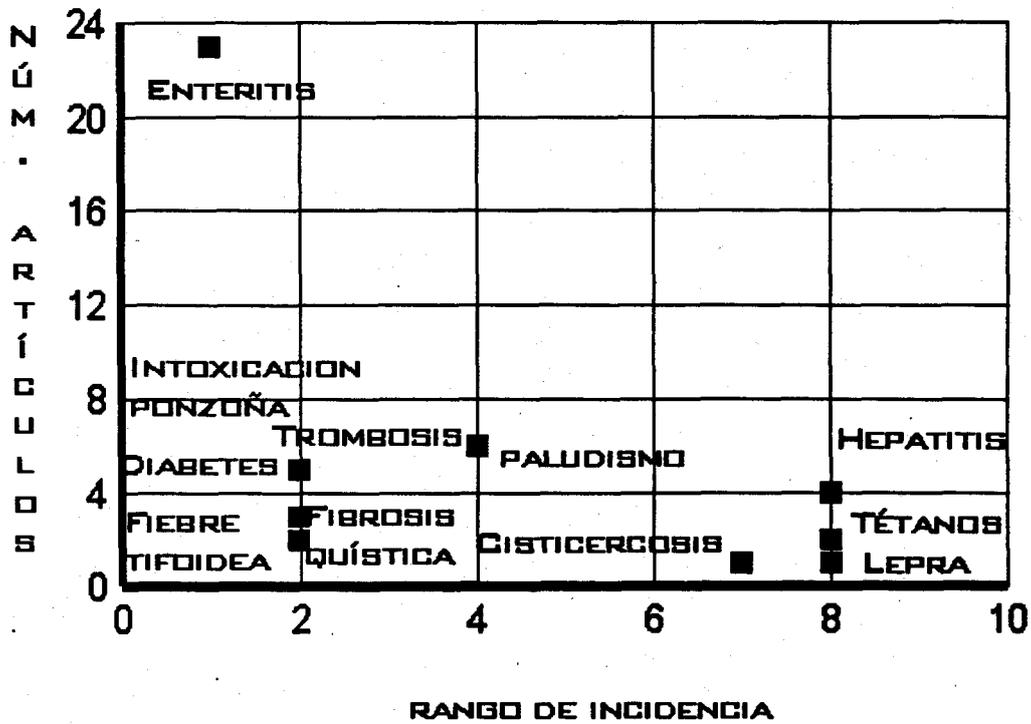
En el caso de la nueva farmacología molecular, el Instituto de Biotecnología posee la infraestructura académica básica, basada en un esfuerzo interdisciplinario, para su desarrollo. Uno de los objetivos de la farmacología moderna es el desarrollo de compuestos que sean más específicos para un subtipo particular de proteínas de membrana involucradas en eventos de excitabilidad y comunicación celular; se pretende superar los efectos secundarios de muchos compuestos que se usan actualmente: la dihidropiridina, por ejemplo, bloquea canales de calcio y es útil en el tratamiento de la angina de pecho, pero causa hipotensión ortostática al bloquear la contracción dependiente de calcio en los músculos lisos de las arterias.

En sentido estricto todos los proyectos del IBT que se inscriben en el campo de la salud abordan temas relevantes con respecto al patrón de morbi-mortalidad de la población mexicana.

Sin embargo, no es claro que el patrón de morbilidad sea muy relevante para explicar el proceso de selección de categorías terapéuticas en los estudios del IBT. Lo mismo se atienden padecimientos de primera importancia, a juzgar por su incidencia, (amibiasis, diabetes) como padecimientos que se presentan en menos casos (lepra, tétanos). Del mismo modo se dejan de estudiar otras categorías terapéuticas (SIDA, cólera) (Figura 12).. Desde luego que aquí se podría abrir una discusión acerca de los criterios para calificar la importancia relativa de un padecimiento (a la incidencia se puede contraponer la letalidad y a ésta la existencia o no de medicamentos eficaces, etc.). Es importante resaltar que el dar respuesta a los problemas de salud más apremiantes efectivamente impone un reto intelectual a los científicos; empero, no se advierte que exista una conexión directa entre la identificación de necesidades sociales, expresada por el patrón de morbilidad, la demanda de productos biotecnológicos, y la selección de campos de actividad y de categorías terapéuticas en las investigaciones del IBT.

Si bien no existe una correspondencia biunívoca entre campos de actividad y categorías terapéuticas específicos. Lo que implica que la selección de uno no conduce a la del otro necesariamente, se observa que la alta concentración de los estudios sobre enfermedades infecto-contagiosas está estrechamente relacionado con el desarrollo de nuevos sistemas de diagnóstico. En este sentido es importante señalar que a mediados de la década de los ochenta empieza a cobrar auge en el Instituto la técnica de hibridación de ácidos nucleicos que ofrece una alternativa en los sistemas de diagnóstico de enfermedades infecciosas. El contar con segmentos de DNA que hibridizan específicamente con el genoma de una bacteria, abre la posibilidad de desarrollar métodos de diagnóstico de enfermedades bacterianas más rápidos, sencillos y sensibles que con los que se cuenta actualmente. Dichos métodos de diagnóstico se

basan en el acoplamiento de las secuencias específicas a sistemas de amplificación de señales. Llama la atención que es a partir de 1986 cuando los estudios se empiezan a concentrar en las enfermedades infecto-contagiosas.



Lugar	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rango	1000 000 11000000	100 000 - 500 000	50 000 - 100 000	10 000- 50 000	5 000 - 10 000	1 000 - 5 000	500 - 1 000	100 - 500	0 - 100

Fig. 12. Distribución del número de artículos del IBT, durante el periodo de 1982 a 1990, de acuerdo a las enfermedades que abordan los estudios ordenadas por el nivel de incidencia que tuvieron en 1990⁴⁸. El mayor número de artículos está relacionado con el diseño de sistemas de diagnóstico de la presencia de rotavirus, agente causal de enteritis. Este tipo de padecimiento está ubicado en el rango de mayor incidencia en el país. También se abordan estudios, aunque con una menor producción científica, sobre enfermedades con una menor incidencia.

Con respecto a la farmacología molecular, otro de los campos dominantes a partir de 1986, se podría pensar que su dinamismo está relacionado con la transición epidemiológica toda vez que tiene un gran potencial en el desarrollo de medicamentos contra enfermedades del aparato circulatorio y del sistema nervioso central; sin embargo, no puede dejar de advertirse que este campo de actividad se desprendió de los estudios sobre la toxina del alacrán que se encaminan a la obtención de una vacuna.

"...descubrimos que en el veneno del alacrán hay familias de péptidos tóxicos que reconocen canales iónicos del tejido excitable y los bloquean. Empezamos a caracterizar químicamente a esas proteínas. A partir de entonces existen dos vertientes importantes en los estudios sobre estas toxinas: construir una vacuna y explotar el hecho de que hay moléculas específicas para ciertas proteínas de membrana y usarlas como herramienta para ver cómo funciona la comunicación entre las células. El interés de las compañías farmacéuticas no ha sido por la vacuna sino por las toxinas como herramienta para el desarrollo de fármacos. L. D. Possani. entrevista personal...

El dinamismo de este campo de actividad está íntimamente relacionado con la identificación y explotación de una novedosa herramienta de estudio de los canales iónicos.

Por otro lado, el desarrollo de los sistemas de diagnóstico y de la farmacología molecular pueden considerarse campos de actividad subsidiarios del otro campo de actividad dominante, es decir, de las vacunas contra enfermedades infecto-contagiosas y contra el veneno del alacrán, respectivamente. En el primer caso esta relación queda establecida, en algunos proyectos, por el área de la ciencia involucrada (inmunología); en el segundo caso, estaríamos hablando no sólo de los insumos y las técnicas de investigación involucrados, sino también de la capacidad de obtener fondos para los proyectos de investigación, que se deriva de la consolidación del prestigio académico a partir de la vigorosa producción científica que permitir la explotación de un campo fértil para el trabajo original.

"...Hemos recibido subvención de la *Howard Hughes Medical Institute* para la clonación de genes que ocupa equipos muy costosos. También hemos recibido donaciones de la OMS para la producción de péptidos sintéticos para sistemas de diagnóstico en lepra y malaria. El nuestro es uno de los tres laboratorios que realizan síntesis química de péptidos en México. Pero la actividad más importante ha sido con relación a las toxinas del alacrán...." L.D. Possani. Entrevista personal.

V.5. El proceso de selección de los campos de actividad.

El proceso de focalización de la investigación en el IBT sobre determinados campos de actividad puede estar relacionado directamente con el desenvolvimiento de conceptos científicos y técnicos novedosos en la investigación biotecnológica que impactan directamente el desarrollo de campos de actividad específicos, pero que se pueden aplicar a la solución de una amplia gama de necesidades terapéuticas.

Esto significa que la selección de campos de actividad específicos está condicionado por el cambio técnico que se registra en el instituto (surgimiento y explotación de nuevas técnicas de la investigación biotecnológica) y que permite generar conocimiento original en un amplio horizonte temático; es dentro de los márgenes de los campos de actividad seleccionados que los investigadores determinan las categorías terapéuticas que atenderán sus estudios; esta última selección concierne a la percepción que tienen los científicos de los problemas de salud de la población más apremiantes. Posteriormente, es posible que se establezca una noción de demanda potencial de los productos que pudiesen derivarse de los estudios, pero a través de un proceso de consonancia cognoscitiva que conduce a justificar socialmente el trabajo de investigación científico y tecnológico que se realiza en la universidad.

Los resultados de este estudio sugieren que la relativa autonomía del desarrollo científico y tecnológico con respecto a las fuerzas sociales y su estructura de incentivos se cumple en la naturaleza acumulativa del conocimiento y en el azar que interviene en el descubrimiento de nuevas técnicas y herramientas de investigación (cambio técnico) durante el propio proceso de acumulación científica y tecnológica. Esto implicaría que no sólo existe un proceso "lamarckiano" de selección de las tecnologías (campos de actividad) a partir de un proceso de aprendizaje y de adaptación institucional, sino que también existe un proceso darwiniano, en el sentido de que el azar (la alteración accidental) está en el origen de la "mutación" de estas técnicas y herramientas (cambio técnico) que constituyen el "genotipo" de la investigación científica y tecnológica y que se expresan a través de sus productos, revelándose en ellos el "fenotipo" (novedad, calidad, etcétera). Estos productos son seleccionados en el complejo institucional con base en la estructura de incentivos que se desprende de las políticas de ciencia y tecnologías explícitas e implícitas. El Esquema 1 presenta el proceso de selección de los campos de actividad y de las categorías terapéuticas que proponemos a partir de los resultados de este estudio. Se asume que no se trata de un proceso lineal ni unidireccional. Por un lado, la investigación que se realiza en el instituto es de carácter interdisciplinario (interacción de diferentes ciencias básicas) y, por otro, el surgimiento de nuevas técnicas y herramientas de estudio se desprenden en gran medida del propio avance del

conocimiento en las mismas áreas de investigación, o bien en otras áreas. En el esquema se señalan los factores que posiblemente sean críticos en el proceso de selección de tecnologías específicas durante el proceso de I-D del IBT-UNAM, sin que su forma de presentación implique un proceso secuencial en el tiempo.

Esquema 1.

desarrollo exógeno al proceso competitivo ----->

Investigación

Productos de investigación

Ciencias básicas	Método, técnica, modelo experimental	Concepción epistémica y social	Campos de actividad	Categorías terapéuticas
	"genotipo"	"fenotipo" (dimensión subjetiva)		

Immunología	Inmunofluorescencia Hibridización de ADN		Sistemas de diagnóstico.	enfermedades infecciosas
Biología molecular	Replicación exponencial de RNA Biosíntesis de proteínas	validez	Vacunas	Intoxicación por ponzoña
Microbiología Bioquímica	clonación, expresión y mutación de genes Aislamiento y purificación de genes y proteínas Reconstitución y medición de canales iónicos	racionalidad objetividad verdad calidad originalidad	Medicamentos (Farm. molecular)	enfermedades del sistema nervioso central enfermedades del aparato circulatorio

continuidad (variación)
discontinuidad ("mutación")

Factores de selección. ----->	Acumulación científica y técnica. Cambio técnico. Azar esencial (no operacional).	Valoración del conocimiento certificado.	Aplicabilidad del conocimiento	Percepción de los problemas de salud por parte de los investigadores
-------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------	--------------------------------	----------------------------------------------------------------------

Esquema 1. Proceso de selección de los campos de actividad de la investigación biotecnológica del IBT-UNAM. Fuente: elaboración propia.

VI. Conclusión.

La debilidad del puente institucional entre la investigación científica y tecnológica del IBT-UNAM y la aplicación económica de los conocimientos ha conducido a que la selección de tecnologías, en campos de actividad específicos, esté regulada fundamentalmente por factores exógenos al proceso competitivo de la industria.

La demarcación de los campos de actividad durante el proceso de I-D de este centro dinamizador opera en un régimen de libertad de investigación que se refuerza con los criterios de asignación de recursos para la ciencia y la tecnología que han establecido los organismos internacionales y el propio Conacyt.

La valoración del conocimiento certificado es, entonces, uno de los factores que más influyen en el dinamismo de la actividad científica y tecnológica de estos centros. La realización de investigación científica de alta calidad ha sido un factor de supervivencia económica los científicos y sus proyectos y esto se refleja en el alto nivel de desempeño que ha alcanzado el instituto que se analizó según los indicadores clásicos del análisis bibliométrico, esto es, la producción científica y sus niveles de impacto en la literatura a nivel mundial.

Todos los investigadores están abordando temas que son relevantes para la satisfacción de las necesidades de salud de la población mexicana y de países con un nivel de desarrollo similar. De hecho la oferta tecnológica del instituto se está focalizando en el diseño de sistemas de diagnóstico, de vacunas y de la incipiente farmacología molecular, que potencialmente permitirían atender necesidades de salud de primera importancia. Estas tecnologías ofrecen ventajas en eficiencia y eficacia con respecto a otras tecnologías ya existentes. Con base en el conocimiento de la incidencia de los padecimientos los investigadores tienen una estimación del número de usuarios potenciales de los desarrollos tecnológicos; sin embargo, no se puede hablar de que exista una estimación de la demanda en términos económicos. Esto último está condicionado, entre otros aspectos, por la solvencia económica de los usuarios potenciales.

Adicionalmente en el sector de la salud existen peculiaridades del lado de la demanda que impiden establecer esta conexión entre la necesidad de salud y los niveles de consumo que pueden alcanzar los medicamentos. Por un lado, el consumidor opera con información

imperfecta en relación al conjunto de variables que afectan su estado de salud y, por otro, quien paga el servicio de salud no es quien decide la compra del servicio (decide el médico, quien tiene conocimiento e intereses y pagan los organismos de seguridad social, los seguros de prepago con los que cuenta el consumidor o éste en forma directa).¹⁰¹

Es posible que la conexión entre la incidencia de un padecimiento y los niveles de consumo que pueda alcanzar un nuevo medicamento sea muy intensa en el caso de enfermedades con un alto índice de letalidad (v.g. el síndrome de inmunodeficiencia adquirida). Empero, es posible que la pretendida identificación entre la morbilidad y la demanda se desvanezca en otro tipo de padecimientos. La estimación de la demanda potencial de un nuevo medicamento puede condicionar la demanda tecnológica de las empresas. Esta demanda tecnológica también está sujeta a la existencia de medicamentos sustitutos o complementarios: el apremio por una vacuna será distinto si existen o no fármacos efectivos; los sistemas de diagnóstico serán más relevantes cuando la efectividad terapéutica depende de la detección oportuna, etc.

En todo caso, la estimación de la demanda en términos económicos es un factor crucial para determinar la atractividad que puede representar para una empresa invertir en un nuevo desarrollo tecnológico. Por otro lado, La incertidumbre asociada al proceso de I-D y el riesgo que representa la introducción de un nuevo producto al mercado influyen en la estrategia competitiva de las empresas: condiciona su decisión de innovar o de no innovar (pudiendo recurrir a la diferenciación espuria de los productos). En función de la opción estratégica la empresa demanda o no el desarrollo de una nueva tecnología.

Conviene enfatizar esta distinción entre la demanda de un nuevo satisfactor por parte de los usuarios-consumidores y la demanda tecnológica que establecen las empresas para poder enfrentar la demanda del nuevo satisfactor.

El hecho de que algunos desarrollos tecnológicos del Instituto no tengan la fuerza suficiente para desplazar a otros que ya operan en el mercado, aún cuando ofrezcan ventajas farmacodinámicas, de confiabilidad, etc., puede sugerir que en algunos casos los esfuerzos de investigación caminan al margen de la demanda de tecnología que establece la industria.

No existe evidencia de que el proceso innovativo tenga alguna repercusión en la consolidación científica y tecnológica en determinados campos de actividad dentro del Instituto. En todo caso, los resultados obtenidos no son consistentes con la hipótesis de que las innovaciones tienen un efecto catalítico en el dinamismo y orientación de la investigación

¹⁰¹ Katz, J. (1988)

científica y tecnológica en una determinada trayectoria. Esto quizá pudiese ocurrir si se tratara de saltos o discontinuidades en el conocimiento que impusieran nuevos retos intelectuales a los científicos.

En este sentido se puede decir que no existe un proceso de endogenización de la ciencia universitaria al proceso de competición de la industria farmacéutica. Si bien los científicos han establecido trayectorias en la investigación tecnológica, con base en el desarrollo de ciencia del más alto nivel, éstas no se han trasladado al sector industrial.

La existencia de patentes sin contratos de transferencia de tecnología revela que existe una oferta tecnológica que se halla alejada de las expectativas del mercado tecnológico. Estas expectativas comprometen la naturaleza competitiva de la tecnología, más allá de las características de las dimensiones tecnológicas. Esto significa que la naturaleza exógena de la tecnología al proceso competitivo de la industria debilita la fuerza de desplazamiento de los desarrollos tecnológicos del instituto en relación a productos directa o cercanamente sustitutos. Mientras no exista un involucramiento industrial, desde las fases más tempranas del proceso de I-D, se puede pensar que existe un desarrollo de tecnología pre-competitiva.

Se requiere algo más que una mejor tecnología, en términos de eficacia y eficiencia, para que se supere el problema de la exigua transferencia tecnológica de la universidad a la industria. Sin embargo ese algo más, que tiene que ver con el proceso de endogenización de la ciencia al proceso competitivo, no se obtiene supradimensionando las funciones del instituto y sus investigadores; al menos esa parece ser la experiencia del instituto en relación a la empresa Genin, S.A.

En suma, se puede decir que el proceso de aprendizaje institucional ha conducido a que se desarrollen senderos tecnológicos que no se interceptan con oportunidades de negocio.

Todo indica que la investigación que se cultiva en la universidad se desenvuelve con una gran autonomía con respecto al desarrollo industrial. Se advierte que los campos de actividad en que se focaliza la investigación y en donde quizá tenga más fortaleza la biotecnología mexicana en el área de la salud están relacionados con el surgimiento de nuevas técnicas y conceptos que consituyen un campo fértil para el trabajo original y con un horizonte temático muy amplio y que potencialmente se podrían aplicar en la prevención y tratamiento de múltiples enfermedades.

Los resultados de este estudio sugieren que la relativa autonomía del desarrollo científico y tecnológico con respecto a las fuerzas sociales y su estructura de incentivos se cumple en la naturaleza acumulativa del conocimiento y en el azar que interviene en el descubrimiento de nuevas técnicas y herramientas de investigación (cambio técnico) durante el propio proceso de acumulación científica y tecnológica. Esto implicaría que no sólo existe un proceso "lamarckiano" de selección de las tecnologías a partir de un proceso de aprendizaje y de adaptación institucional, sino que también existe un proceso darwiniano, en el sentido de que el azar (la alteración accidental) está en el origen de la "mutación" (cambio técnico) de estas técnicas y herramientas. Estas últimas constituyen el "genotipo" de la investigación científica y tecnológica y se expresan a través de sus productos; en estos últimos se revela el "fenotipo" (novedad, calidad, etcétera). Estos productos son seleccionados en el complejo institucional con base en la estructura de incentivos que se desprende de las políticas de ciencia y tecnologías explícitas e implícitas.

Lo anterior sugiere que el proceso de selección parte no del nivel de la justificación, sino del nivel del descubrimiento en el que intervienen esfuerzos sistemáticos de búsqueda, basados en un cúmulo de conocimientos. Es una búsqueda que no está desprovista de intención y dirección, pero involucra un elemento fundamental de incertidumbre con respecto a la posibilidad de trazar con precisión los procedimientos de solución a los problemas de investigación. Esta incertidumbre es de naturaleza esencial debido a que resulta de la interacción de cadenas causales totalmente independientes una de otra. El *insight* es producto de "coincidencias absolutas".

En el descubrimiento y en el proceso de invención (surgimiento de "cosas nuevas") intervienen diferentes manifestaciones del proceso creativo, como el "pensamiento divergente", que conducen a la obtención de soluciones novedosas. Es posible aplicar esfuerzos conscientes para afectar el ritmo de las invenciones creando ambientes adecuados para la investigación.¹⁰² Estos escenarios se pueden construir con base en el reconocimiento de los factores sociales que influyen sobre las manifestaciones de la creatividad. Adicionalmente, los instrumentos de política de ciencia y de tecnología también pueden establecer una estructura de incentivos coherente con la naturaleza del proceso creativo. La libertad y la motivación (el reconocimiento social, acompañado de una compensación decorosa, al trabajo de investigación, por ejemplo) son ingredientes esenciales en el proceso de gestación de las ideas, no así el apremio en la obtención de resultados "originales" para alcanzar una alta productividad científica.

¹⁰² Ruttan, V. (1979)

Para afectar el ritmo y la dirección de las innovaciones, que corresponde a un momento ulterior, se requiere además de esfuerzos organizacionales que permitan abreviar el paso de los hallazgos de laboratorio a la línea de producción de la industria.

El proceso de selección de los campos de actividad no explica, sin embargo, la focalización de los estudios en determinadas categorías terapéuticas. El hecho de que el desarrollo de los sistemas de diagnóstico se esté concentrando en la detección de enfermedades infecto-contagiosas y no en las genéticas, por ejemplo, puede estar más relacionado con la percepción que tienen los investigadores de los problemas de salud del país. En todo caso, la atención de problemas relevantes para la salud del país ocurre dentro de los márgenes que imponen los campos de actividad dominante.

Es posible que exista una percepción ingenua de los mercados por parte de los investigadores, empero no de los problemas de salud más acuciantes de la población.

Los resultados de este estudio revelan que aunque es posible que los instrumentos de evaluación coadyuven a consolidar las trayectorias científicas trazadas por los países de mayor dinamismo científico, esto no significa que hayan desincentivado la investigación sobre temas que son relevantes para el bienestar y la economía locales, toda vez que se incorporan, con base en la calidad de los estudios, en la literatura científica internacional.

Se advierte que los investigadores definen sus proyectos en la perspectiva de poder competir por un buen donativo. Es condición de supervivencia económica acceder al financiamiento externo para sus proyectos. Además de los fondos del Conacyt, los investigadores del Instituto compiten por los de las agencias internacionales.

De este modo, la evaluación asociada a la calidad y relevancia de los proyectos de investigación, consolida la tendencia de fortalecimiento de la ciencia básica.

La mayor parte de las agencias internacionales tienen previstos fondos de apoyo para los países en desarrollo. Estas han identificado a la biotecnología como una de las áreas con mayor potencial para resolver sus problemas. Sin embargo, prevalecen criterios muy semejantes a los establecidos por el Conacyt para asignar el financiamiento. Los criterios de evaluación que aplican el Conacyt y las agencias internacionales para financiar los programas o proyectos de investigación se hallan sujetos a estándares muy similares a los establecido en los instrumentos de política para incentivar el trabajo académico. Esto ha permitido que el financiamiento externo, que es fundamental para el fortalecimiento de la capacidad científica interna, no haya debilitado la coherencia de las políticas internas. Esta estructura de

financiamiento ha garantizado que se realicen proyectos competitivos académicamente y esto ha elevado el prestigio del centro a nivel internacional y ha conducido a la creación de un círculo virtuoso de la investigación científica.

En estudios previos¹⁰³ se ha advertido sobre la conveniencia de abrir más opciones a la carrera académica, a través de los mecanismos de evaluación, para incentivar la investigación tecnológica en los centros de investigación sin que esto rompa con el encuadre de su lógica institucional y con sus funciones. Sin embargo, los resultados de este estudio sugieren que no será suficiente la valoración académica de las patentes, por ejemplo, para que se fortalezca el interés de las unidades académicas por el proceso de la innovación tecnológica, toda vez que se percibe a la patente como una etapa terminal del proceso de investigación.

El proceso de aprendizaje institucional ha conducido a que el centro defina como su propósito fundamental realizar investigación original de alta calidad. Sin embargo, se reconoce que todos los investigadores están abordando temas relevantes para la salud mexicana, pero ya no como investigación a corto plazo, sino como investigación básica que, eventualmente, podría resolver aquellos problemas que planteen los usuarios de la tecnología.

Empero, quizá se están desaprovechando las capacidades tecnológicas del Instituto. La desarticulación de los centros de investigación biotecnológica de excelencia con respecto a la industria nacional puede cerrar la "ventana de oportunidad" que ofrece este nuevo paradigma. En todo caso, esto puede ocasionar que las condiciones estructurales de la competitividad establecidas en México beneficien más a otros países y a las empresas transnacionales; y no porque los desarrollos tengan un beneficio potencial sólo para los países más industrializados, sino porque estos cuentan con mayor capacidad de monitorear y asimilar conocimientos estratégicos de libre acceso, mientras que aquí se dejan de desarrollar tecnologías de primera importancia para el país.

En términos generales, el IBT mantienen un gran proximidad a la frontera del conocimiento en sus campos de investigación. Debido al carácter genérico de la biotecnología, esto último les puede permitir atender problemas específicos de diferentes campos de actividad partiendo de un conocimiento muy sólido. Sin embargo, las empresas

¹⁰³ Oliveira, A., Villa Soto, J.C. y Villegas, A. (1994)

nacionales parecen seguir siendo el eslabón más débil de la cadena debido a que en su estructura organizativa no existen cuerpos técnicos que posibiliten una comunicación efectiva con los centros de investigación.⁴²

El reto de revertir esta posible tendencia depende del fortalecimiento de los eslabones más débiles del denominado Subsistema Nacional de Biotecnología y de la implementación de mecanismos que favorezcan la interacción y la retroalimentación positiva de estos. Los gobiernos federal y estatales pueden contribuir significativamente a "alambrar" la red con base en el diseño de instrumentos de política de ciencia y de tecnología que sean coherentes a la naturaleza interactiva del proceso innovativo y que permitan no sólo el desarrollo endógeno de las capacidades científicas y tecnológicas, sino también el aprovechamiento de estas capacidades para que este conocimiento sea social y económicamente útil.

Es evidente que el éxito del proceso innovativo en las biotecnologías, como en otras tecnologías, requiere de la participación de los usuarios en la definición de los problemas y en su incorporación temprana en los procesos de desarrollo. Este reto puede ser más difícil en el caso de la biotecnología moderna que se basa en el desarrollo de la ingeniería genética y de la biología molecular debido a que su sofisticación y su incipiente desarrollo la hacen todavía ininteligible para la industria nacional.

La posibilidad de que México pueda alcanzar una posición de liderazgo en algunos campos de actividad del sector farmacéutico, con base en el desarrollo de nuevas aplicaciones de la biotecnología moderna, depende en gran medida del aprovechamiento industrial de las capacidades científicas y tecnológicas que existen en sus centros dinamizadores de la biotecnología. Es conveniente enfatizar esta condicionante porque las empresas son las únicas que pueden articular la compleja relación que existe entre la investigación y los mercados.

El análisis de cómo se expresa la oferta/demanda en la investigación universitaria y cómo opera la relación investigación/innovación dentro de un centro dinamizador de la biotecnología en México nos sugiere que el desaprovechamiento industrial está íntimamente asociado a que no existe una endogenización de la actividad científica y tecnológica de los centros universitarios al proceso competitivo.

Conviene advertir que este proceso de endogenización depende de la naturaleza del puente institucional que exista entre los centros de investigación y las empresas. No se

requiere que los centros de investigación supradimensionen sus funciones como se pretendió en los primeros años de actividad; quizá lo más importante es que el interés por desarrollar tecnología competitiva se ampare en el reconocimiento de que el proceso innovativo depende de la colisión entre necesidades y oportunidades técnicas; y de que las necesidades no son necesariamente una expresión de la demanda en términos económicos. En todo caso es conveniente que la oferta tecnológica que pretenda ser competitiva responda a la demanda tecnológica del sector productivo. En algunos casos será indispensable la participación de la empresa pública en el proceso innovativo toda vez que existen medicamentos que tienen un número de usuarios muy restringido. Es fundamental la intervención gubernamental en la promoción del desarrollo de este tipo de medicamentos que puede derivarse de las capacidades científicas y tecnológicas de los centros dinamizadores de la biotecnología.

Esto no significa que la innovación no se pueda estructurar a partir del proceso de acumulación tecnológica que se deriva de la actividad de los científicos; sin embargo, si se trata del aprovechamiento de los desarrollos tecnológicos que surgen dentro de la academia, quizá esta posibilidad dependa de la existencia en México de empresas con cultura tecnológica y de la información técnica..

En este sentido es importante señalar que el impacto tan reducido que han mostrado los instrumentos que pretendían incentivar la participación del sector productivo en su propio desarrollo tecnológico no puede analizarse al margen de las características de la cultura tecnológica de las empresas. Sin embargo, la influencia de estos instrumentos también depende de la capacidad de las empresas de interpretar el entorno económico y tecnológico. Esta capacidad está mediada por la calidad y la cantidad de la información técnica disponible. Este elemento intermediario de naturaleza intangible es fundamental para transparentar el entorno tecnológico. Y esto es una condición para poder establecer políticas de acercamiento y cooperación entre las empresas a través de alianzas estratégicas, así como entre las empresas y las universidades y en general entre el sector productivo y los diferentes elementos del Subsistema Nacional de Innovación. La debilidad de este elemento de la red se acentúa debido a que los pocos servicios de información técnica existentes no son aprovechados cabalmente por las empresas.

Un denominador común de los problemas más acuciantes para estructurar una red convergente en el subsistema nacional de innovación tecnológica es el reducido número de

recursos humanos en este campo, especialmente en los nodos más débiles de la red. La existencia de cuadros especializados dentro de las empresas permitirían afrontar al menos dos de los problemas más acuciantes que se han detectado desde los centros de investigación universitarios: a) la ausencia de interlocutores dentro de las empresas. (las empresas nacionales carecen de un departamento de Investigación y Desarrollo o bien de Departamentos Técnicos que puedan actuar como interlocutores con el Instituto); y b) la falta de claridad en las demandas específicas de los productores.

Se advierte que la oferta tecnológica se desplaza al margen de la demanda tecnológica porque sencillamente esta no existe o es poco clara. Esta situación explica que el abordaje de temas relevantes para la salud de la población no se asuma como investigación a corto plazo, sino como investigación básica que, eventualmente, podría resolver aquellos problemas que planteen los usuarios de la tecnología.

Sin embargo, en este momento ya se empiezan a consolidar ciertos campos de actividad dentro del IBT que pueden ser atractivos para su explotación comercial si se tipifica la oferta y la demanda de los productos derivados de los proyectos de I-D a nivel de perfil o prefactibilidad. Esto significa que quizá deban fortalecerse los esfuerzos de gestión tecnológica dentro de los centros dinamizadores de la biotecnología en México.

VII. Bibliografía

- Achilladelis, B. The dynamics of technological innovation: the sector of antibacterial medicines". *Research Policy* 1993; 22:279-308.
- Amábile, C. "La resistencia bacteriana a los antibióticos". *Ciencia y desarrollo* 1988, 80: 57-68.
- Avalos G., I. *Biotechnología e Industria: un ensayo de interpretación teórica*. Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1990.
- Ballance, R. Pogány, J. y Forstner, H. *The World's Pharmaceutical Industries. An international perspective on innovation, competition and policy*. England, United Nations Industrial Development Organization, 1992.
- Bercovich, N, y Katz J. *Biotechnología y economía política: estudios del caso argentino*. Buenos Aires, Centro Editor de América Latina, 1990.
- Callon, M. Courtial, P. Crance, P. et al. "Tools for the evaluation of technological programmes: an account of work done at the Centre for the Sociology of Innovation". *Technology Analysis and Strategic Management* 1991 (3)1: 3-41.
- Casas, R. "La capacidad de investigación biotecnológica en México en el área agroalimentaria. Tendencias durante la década de 1980". *Sociológica* 1991, 16:151-181.
- Cooperación técnica en biotecnología aplicada a la salud en América Latina". *Bol. Of. Sanit. Panam* 1989 , 106 (3): 246-252.
- Correa, C.M. "Biotechnología: el surgimiento de la industria y el control de la innovación". *Comercio Exterior* 1989; (39)11: 987-999.
- Correa, C.M. "Industria farmacéutica y biotecnología. Oportunidades y desafíos para los países en desarrollo". *Comercio Exterior* 1992; (42)11:1009-1018.
- Cruz, C., Faba, G., Martuscelli, J. y Sánchez, E. "El proceso científico tecnológico en salud en México". En Micheli, J. (Comp.) *Tecnología y Modernización Económica*. México, UAM-Xochimilco, 1993, pp. 383-415.
- Dosi, G. "Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation". *Journal of Economic Literature* 1988; 26:1120-1171.
- Dosi, G. "Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change". *Research Policy* 1982; 2(3): 147-162.
- Dosi, G. y Nelson, R. "Evolutionary theories in economics: assessment and prospects". En *Market and Organization: the competitive firm and its environment*. Italia, LATAPSES, 1994.
- Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. "The innovative process: international and intersectorial differences and determinants". En Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. *The economics of Technical Change and International Trade*. Harvester/Wheatsheaf, New York, 1990.

- Erns, D. y O'connor, D. *Technology and Global Competition*. OECD, Development Center, 1989.
- Flores, J. (Ed). "Devolver el poder de decisión a la comunidad científica. Entrevista con Fausto Alzati". *Boletín de la Academia de la Investigación Científica* 1991, 6: 34-37.
- Flores, J., López -Torres, R. y Villa Soto, J.C. "Gasto en ciencia y tecnología: puntos de partida de la modernización". *Ciencia y desarrollo* 1991, 97: 24-32.
- Freeman, C. *The economics of industrial innovation*, London, F. Pinter, 1982.
- Galindo Fentanes, E. "Biotecnología: oportunidades y amenazas". *Ciencia y desarrollo* 1988, 80: 21-40.
- Guadarrama, S.R., Labra, B. y Mejía Ma, N.G. "Institucionalización de la biotecnología en México. Estrategia y perspectiva de desarrollo". En *Política científica e innovación tecnológica en México. Retos para la Universidad*. IIMAS-UNAM, México, 1992.
- INEGI. *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*, 1988, 1989, 1991.
- INEGI. *Estadísticas Históricas de México (Tomo I)*, 1985.
- INEGI. *Informe estadístico del sector salud y seguridad social*. Cuaderno número 10, México, 1994.
- Instituto de Biotecnología de la UNAM. *Informe 1991*, CIC-UNAM, México, 1991.
- Jewkes, et al. *The sources of invention*. Macmillan, Londres, 1969. Cap. 10. pp. 194-227.
- Kaitin, K., Bryant, N. and Lasagna, L. "The role of the research-based pharmaceutical industry in medical progress in the United States". *J. Clin Pharmacol* 1993; 33:412-417.
- Katz, J. *Organización del sector salud. Puja distributiva y equidad*. Buenos Aires, Centro Editor de América Latina, 1988.
- Lundvall, B.A. "Introduction". En Lundvall (Ed). *National Systems of Innovation*. Pinter Publishers, Londres, 1992. pp. 1-22.
- Maldonado, K. "La nueva bioindustria". En *Análisis Económico* 1988, 7(12-13), UAM-Atzacapotzalco.
- Molina S., R. y Rivas V., J.F. *Medicamentos, Economía y Salud. Aspectos económicos y utilización médico-social de los medicamentos*. México, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (11), 1992.
- O. Vera-Cruz, A. González, R.L. y Solleiro, J.L. "El proceso de creación y consolidación de nuevas empresas biotecnológicas en México: análisis de casos". *Aspectos conceptuales y metodológicos de la gestión tecnológica*. ALTEC, Venezuela, 1992.
- Office of Technology Assessment. *Biotechnology in a Global Economy*. International Conference. 1991.
- Olive, L. (Comp.). *La explicación social del conocimiento*. UNAM, México, 1985.

- Oliveira, A., Villa-Soto, J.C. y Villegas, A. "El subsistema de innovación biotecnológica en México: el papel de los centros de investigación. *Comercio Exterior* 1994, 44 (8): 705-715.
- Orsenigo, L. *The emergence of biotechnology. Institutions and Markets in Industrial Innovation*. Pinter Publishers, London, 1989.
- Pérez, C. "Cambio Técnico, restructuración competitiva y reforma institucional en los países en desarrollo". *El Trimestre Económico* 1992;59:25-64.
- Possani, L. D. et al, "Protección contra el alacranismo". En *Vacunas, ciencia y salud*. Secretaría de Salud, México, 1992.
- Proyecto para la creación de un sistema regional latinoamericano de vacunas". *Bol. Of. Sanit. Panam* 1991, 110 (2): 160-168.
- Quintero, R. "Biotecnología". En Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. *México ante las nuevas biotecnologías*. México, Ed. Porrúa, 1991. pp. 163-217.
- Quintero, R. (Compilador). *Prospectiva de la biotecnología en México*. Fundación Javier Barros Sierra, A.C., México, 1985.
- Reuter. "Crisis médica por bacterias resistentes a fármacos". *El Financiero*, 18 de mayo de 1993, p. 35.
- Rosenberg, N. *Perspectives on technology*, Cambridge, University Press, 1976.
- Rosenberg, N. *Tecnología y Economía*. España, Ed. Gustavo Gili, 1979.
- Ruiz L., R y Segitore, L. *Nuevo Diccionario Médico*, TEIDE, España, 1984, pp. 94-104.
- Ruttan, V. "Usher y Schumpeter en la invención, la innovación y el cambio tecnológico" (1959). En Nathan, R. *Economía del Cambio Tecnológico*, Fondo de Cultura Económica. Lecturas, No. 31, 1979. pp. 66-77.
- Schmookler, J. "Fuentes económicas de la actividad inventiva". En Nathan Rosenberg, *Economía del cambio tecnológico*. México, FCE, Serie Lecturas, No. 31, 1979.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. *Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica, 1990-1994*. SPP, México, 1990.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. *Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico, 1984-1988*. SPP, México, 1984.
- Sercovich, F. and Leopold, M. *Developing countries and the new biotechnology. Market entry and industrial policy*. Canada, IDRC-MR279e, 1991.
- Struck, M. "Biopharmaceutical R & D success rates and development times". *Biotechnology* 1994 (12): 674-677.
- Universidad Nacional Autónoma de México. *Informe UNAM, 1982-1991*.

Vernon, R. "La inversión internacional y el comercio internacional en el ciclo de productos". En Nathan Rosenberg, *Economía del cambio tecnológico*. México, FCE, Serie Lecturas, No. 31, 1979.

Villa Soto, J.C. "Los metales son esenciales en la química de la vida". *La Jornada*, 15 de julio de 1991, p, 39.

Waissbluh, M. y Gutierrez A., I. "Metodología para la determinación de prioridades en ciencia y tecnología". *Investigación Económica* 1987, 180: 143-167.