

La red de innovaciones en la investigación genómica en los Estados Unidos

*María Ester Dal Poz, Sandra de Negraes Brisolla**

Este trabajo analiza la organización de la red de investigación genómica en los EUA y su capacidad de originar innovaciones para los sectores de farmacia, alimentos y agricultura. Esta área de investigación presenta peculiares características de organización debido al conjunto de factores imprescindibles para su desarrollo: alto costo de la investigación, exigencia de integración de recursos humanos calificados en muchas áreas de conocimiento e intenso trabajo científico. El planteo de este problema remite a la necesidad de negociación entre universidades, empresas y gobierno, de modo que, como resultado de innumerables iniciativas entre estas tres instituciones, tanto los Institutos de investigación como las empresas industriales son llevadas hacia la introducción de la innovación. Este proceso implica múltiples dinámicas, en las esferas de producción de conocimientos, el mercado y en las fuerzas resultantes de las interacciones entre las dos. El encuadre metodológico que originó el análisis bajo estas tres perspectivas es provisto por los conceptos desarrollados en el modelo de la Triple Hélice (Etzkowitz y Leydesdorff, 1996). El patrón de integración entre los componentes de la red comprende innumerables formas de vinculación y de colaboración institucional. La utilización de mecanismos de aproximación también incluyó el uso compartido de recursos complementarios, tales como bases de datos y laboratorios. Las dinámicas de producción de conocimientos y de mercado son establecidas y coordinadas por instrumentos legales.

Palabras clave: organización de la investigación científica; investigación genómica; producción de conocimiento; cooperación institucional.

La red de innovación en la investigación genómica en los Estados Unidos

Las investigaciones en genómica y la producción de innovaciones biotecnológicas configuran en la actualidad, en los EUA, una red que resolverá algunos problemas implícitos en este tipo de emprendimientos científicos. Este artículo analiza la organización de esta red y la capacidad de este sistema para originar innovaciones tecnológicas para los sectores de farmacia, nutrición, agricultura y ganadería, y de sus interfaces.

Con la finalidad de demostrar que esta red consolida un complejo sistema de innovación, se presentan mapas de la organización de la inves-

* Departamento de Política Científica y Tecnológica /IG /Unicamp.

tigación, en los que están representados instituciones, programas de investigación y educación, organismos gubernamentales -incluyendo agencias de fomento a la CyT, asociaciones de clase y representantes del sector de comercialización de estas tecnologías.

El área de genómica presenta características de organización bastante peculiares debido al conjunto de factores imprescindibles para su desarrollo. Son sus características: a) el alto costo de la investigación, b) exigencia de integración de recursos humanos de alto nivel de capacitación en muchas áreas de conocimiento -tales como genética, biología molecular, bioinformática, física e ingeniería- y c) un enorme volumen de trabajo científico implicado por el secuenciamiento, mapeo y determinación de la funcionalidad génica.

El planteo de este conjunto de problemas remite a la necesidad de negociación entre universidad, empresa y gobierno, de modo que, como resultado de innumerables iniciativas trilaterales, instituciones de investigación e industria son orientadas hacia la introducción de las innovaciones. Este proceso envuelve múltiples dinámicas en las esferas de la producción de conocimientos, del mercado y en las fuerzas reflejas resultantes de las dos. Esta última representa la dimensión de dirigibilidad política y su capacidad de mantener deliberadamente las dos primeras en movimiento.

El encuadre metodológico que originó el análisis desde estas tres perspectivas proporciona dos conceptos desarrollados en el modelo de la Triple Hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 1996) que contemplan las dinámicas relativas a los intereses de los tres componentes involucrados en la transformación del conocimiento en capital. La industria apunta al mercado, la universidad apunta a la producción de conocimientos y el gobierno debe mantener una estructura de dirigibilidad sobre las dinámicas de los dos primeros.

Para la economía evolucionista, la innovación, como traducción del conocimiento en actividad productiva, configura una estructura tecnoeconómica, estando sus focos de análisis en la evolución conjunta de mercados y tecnologías, y en la selección de las empresas que internalizan innovaciones en los ambientes de mercado. Para los estudios sociológicos de la ciencia, la innovación se genera en instituciones que presentan diferenciaciones funcionales muy importantes, y el foco de análisis de los procesos de aproximación entre academia e industria está en la dinámica de sus relaciones institucionales. También desde la perspectiva evolucionista, estas tradicionales disposiciones son tomadas por los formuladores del modelo de la Triple Hélice como punto de partida para considerar que el gobierno tiene el papel de gerenciar la aproximación entre instituciones

académicas y de I+D industrial. De acuerdo con la perspectiva histórica de que el desempeño de actividades humanas en instituciones autónomas (más fuertemente conectadas por mecanismos de interacción) es capaz de rediseñar las estructuras institucionales, corresponde al gobierno establecer mecanismos de interacción que mantengan los movimientos entre las "hélices" de la producción innovativa. El gobierno representa una tercera hélice, compleja y potencialmente inestable, pasible de establecer movimientos tan caóticos como las dos primeras. De este modo es posible contemplar el proceso innovativo por el análisis de la espiral descrita por la resultante de las fuerzas entre estas tres esferas.

La complejidad de la estructura de la red de biotecnologías, que involucra producción de conocimientos, sus nexos con el mercado, y su estructura de dirigibilidad, convierte al modelo de la triple hélice en el instrumento más adecuado para su análisis.

La perspectiva de producción de conocimientos involucra aspectos de educación y capacitación de recursos humanos y programas de investigación interdisciplinaria. La implementación de estos programas y de las agendas de investigación está articulada con las dinámicas de mercado: de alguna manera, los sectores de investigación pública y de I+D industrial son socios en la capacitación progresiva de la reserva de capital humano y en la producción de conocimiento científico y tecnológico. Con el objeto de minimizar los factores limitantes de la producción de conocimientos en este área, el sector público y el privado se encargan de poner a disposición un enorme conjunto de programas integrados que producen conocimiento técnico-científico e institucional, de modo tal que muchas veces un actor del sector público se comporta como un actor de mercado. Aun cuando el gobierno sea el mayor financiador de estas actividades, principalmente las referidas a la investigación básica, la organización en red permite una amplia utilización productiva de estos programas, tanto en términos de capacitación humana, como en lo referente a la producción de nuevos productos y procesos en biotecnología. Los vínculos entre agenda de educación e investigación, y el mercado, resulta en una interacción cooperativa entre universidades, institutos de investigación y sectores industriales, la aproximación entre intereses académicos y económicos; las formas de colaboración entre ellas hacen emerger un nuevo patrón de comportamiento científico en el cual el investigador busca, además de prestigio académico, capitalizar el conocimiento.

Los nexos de la producción de conocimientos con las dinámicas de mercado están representados por los mecanismos de transferencia de tecnología (TT), acuerdos cooperativos, contratación de investigación, pago de licencias. Desde la segunda perspectiva, el número e importancia tec-

nológica de las patentes obtenidas como resultado de la aplicación de estos mecanismos demuestra que la capacitación y la investigación cooperativa de las áreas pública y privada contribuyen a la coevolución de mercados y tecnologías (Nelson, 1994). Por medio de la ejecución de I+D, de la contratación y realización de investigación científica, y del desarrollo de nuevos productos, la industria es capaz de inferir cuáles conocimientos y qué nivel de ciencia son necesarios para la resolución de sus problemas tecnológicos (Mowery y Rosemberg, 1989).

El análisis de la red demostrará en qué forma las empresas realizan I+D *in house* y contratan investigación, estableciendo casi veinte tipos de vínculos con los centros públicos de producción científica. El acercamiento tiene lugar por medio de diversas estrategias capaces de vincular local, regional y nacionalmente el sistema de bioinnovaciones. Este proceso está en interacción profunda con los sistemas de capacitación de los investigadores, produciendo conocimiento técnico-científico que se presenta incorporado en las esferas pública y privada de las universidades, institutos de investigación y en las empresas, una vez que los actores involucrados desempeñan un rol en ambas en la medida que desarrollan investigaciones en colaboración. Es evidente que los vínculos interinstitucionales no son simplemente formales, sino puestos en acto en la ejecución de programas de investigación. Por esto, la segunda perspectiva está íntimamente ligada a la primera, sin que exista, sin embargo, una relación causal única y unidireccional entre ellas. Los agentes participan de sistemas de aprendizaje científico que incluyen proyectos con múltiples metas, muchas de las cuales sólo podrían ser alcanzadas en el caso de existir utilización de técnicas empresariales. Los proyectos envuelven ensayos preliminares de productos biotecnológicos realizados por los usuarios, incluidos en las redes por medio de asociaciones de usuarios (consumidores), como por ejemplo, de portadores de deficiencias genéticas. Las diversas ramas de las fases de ejecución y ensayo de productos de investigación, como los ensayos clínicos de nuevos fármacos o nuevos productos agropecuarios transgénicos, son procesados de forma articulada en la empresa y en la institución pública de investigación. Existe una mezcla funcional discriminada y no casual entre actores que, por su participación, se comportan como agentes de transferencia de su aprendizaje y de las biotecnologías generadas en la red. Las relaciones usuario-productor constituyen un importante aspecto de la consolidación de la red: tanto en las decisiones sobre qué investigaciones realizar, en la participación de ensayos clínicos o tests de utilización de nuevos productos agropecuarios, en la participación de asociaciones de clase, de asociaciones de portadores de deficiencias hereditarias o de enfermedades transmi-

bles se incorpora el papel de actores participantes de la red. Así, se puede llegar a la conclusión de que las dinámicas de mercado, las de producción de conocimiento y las representaciones sociales se encuentran integradas en una trama de relaciones que favorece el proceso de aprendizaje técnico-científico e institucional y genera efectivas formas de internalización de biotecnologías.

La capacidad de la red para relacionarse es el principal condicionante de su existencia y refleja las interacciones entre las dinámicas innovativas y las de mercado. Esta capacidad puede ser el resultado del establecimiento de vínculos de integración entre componentes de la red, que los dota de una estructura de dirigibilidad en términos de política de CyT. La perspectiva de la dirigibilidad se presenta en la proyección de las acciones gubernamentales que puedan motivar estos modos de relación. En estas redes tales acciones son representadas por programas que promueven investigación en colaboración interinstitucional, consultorías, contratos de riesgo, licenciamiento de propiedad intelectual a bajo costo, contratos de investigación de costos compartidos, entre otros. El resultado de ello son intensas relaciones universidad-empresa-gobierno por medio de la cooperación para la investigación, ancladas, relevadas y avaladas por legislación específica para programas mixtos de educación, investigación y desarrollo de biotecnologías. En su rol de herramientas políticas formuladas para apoyar formalmente el mantenimiento y la creación de vínculos entre las esferas pública y privada, cubren una serie de cuestiones implícitas de la producción cooperativa de biotecnologías: involucran contratos de riesgo, contratación de investigación por la empresa junto a la universidad, creación y utilización de instrumental de investigación y establecimiento común de las cuestiones legales de apropiabilidad de los resultados de las investigaciones. La formulación de estos instrumentos suscita polémicas de índole ética, de propiedad intelectual y de derechos económicos que están siendo activamente debatidos. A pesar de ello, una enorme cantidad y variedad de los mismos están siendo aplicados y sirven de vínculos formales entre instituciones, lo que representa la capacidad de definición de la red. Es ello lo que se muestra en el análisis que figura a continuación.

Redes de innovación en genómica: investigación de vegetales

La investigación en *genomics* presenta peculiares características como actividad científica. Los resultados de una investigación pueden casi siempre favorecer el aumento de velocidad en la obtención de resultados de

otra. Cuando, por ejemplo, se logra mapear, secuenciar y determinar la función de un gen de un parásito, los resultados de la investigación contribuyen a la localización del mismo gen en el huésped de este parásito. Esto es así porque la relación parásito-huésped depende de esta complementariedad génica, resultante de la evolución entre ambos. Lo mismo es válido para otros innumerables casos. Así, a partir del depósito de ciertos resultados en bancos genéticos, la comunidad de investigadores tiene mayores facilidades para proseguir con nuevas investigaciones. El desarrollo de herramientas de investigación sirve a un gran número de nuevas investigaciones potenciales. Es el caso de los programas de bioinformática, *chips* marcadores de la localización de genes o moléculas-vec-tores.¹ El BAC *-bacterial artificial chromosome-* es un ejemplo de vector de trechos de ADN ampliamente utilizado. Así, la investigación sobre vegetales resulta en un mayor número de componentes auxiliares en la comprensión de investigación sobre microorganismos o sobre genes humanos. Diferentes proyectos o programas se benefician del aumento de oferta de capital humano, una vez que el manejo de procedimientos es bastante común.

La complementariedad y eficacia múltiple de estos procesos permite decir que la genómica puede ser considerada como *big science*, aun cuando cada institución o proyecto tengan objetos de investigación particulares. Como consecuencia, la organización de la investigación presenta un patrón común a sus varias ramas.

La red de los Estados Unidos presenta tres grandes ramas interdependientes. El conjunto de programas del Human Genome Project (HGP) -Proyecto Genoma Humano, que es el más extenso, complejo, intrincado y el que recibe el mayor volumen de menciones públicas de los tres, cuyo secuenciamiento acaba de entrar en la etapa final (FSP de 07/04/2000, pp. 1-13)- y del sector de investigaciones en ciencias biomédicas. En el grupo de las investigaciones sobre microorganismos y virus se encuentran los esfuerzos en hallar las bases genéticas de los efectos patogénicos de ciertos organismos, y las formas de interacción ambiental de estos seres. En el tercer grupo están las investigaciones sobre vegetales, que apuntan a producir nuevos cultivos, a comprender y evitar acciones adversas originarias del ambiente o de los parásitos. Las tres ramas son apenas el resultado de una división analítica porque, en verdad, las semejanzas y diferencias entre los genomas de los organismos vivos reflejan su evolución común, y las investigaciones sobre ellos están naturalmente interconectadas.

¹ Secuencias génicas capaces de transportar un gen de un organismo a otro, produciendo los "transgénicos".

El estudio que llevó a la presentación de este artículo incluyó la formulación y el análisis de mapas de las tres ramas citadas, lo que constituye evidencia empírica sobre la estructura organizacional común de la investigación en genómica. En razón del espacio que puede ser asignado a un artículo como el presente, solamente consideraremos la rama correspondiente a la investigación en vegetales.

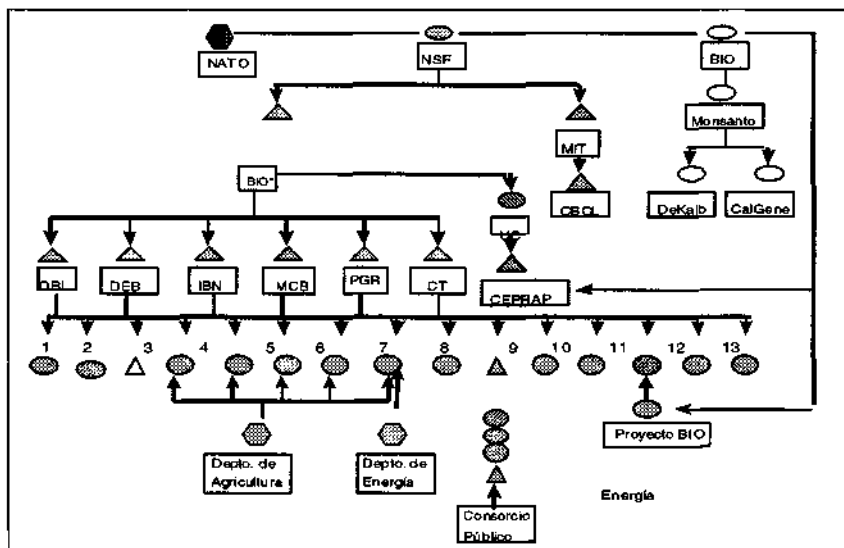
Los mapas fueron contruidos según una tipología que intenta reunir, bajo el menor número de criterios, la gran variedad de instituciones y programas encontrados. Teniendo en cuenta la dificultad de representación de los enormes e intrincados sistemas en red, y todas las formas de interacción entre universidad, empresa y gobierno, se presenta una mención por tipo de componente. Finalmente, los mapas son discutidos según las tres perspectivas dadas por el modelo de la Triple Hélice: de las dinámicas innovativas y de producción de conocimientos, de mercado y de dirigibilidad política.

Leyenda Mapa de Red de investigación en genómica de vegetales en EUA

	Agencias Federales de Ciencia y Tecnología		Universidades Públicas
	Grandes Programas Nacionales de Investigación en genómica		Institutos Públicos de Investigación
	Programas Públicos de Investigación y Capacitación		Red Mixta de Instituciones: Universidad - Empresa - Gobierno
	Redes Públicas de Investigación y Capacitación		Programas Mixtos de Investigaciones y Capacitación entre Universidad - Empresa - Gobierno
	Empresas Privadas de Biotecnología		Instituciones Federales - Departamentos relacionados con el Congreso Nacional
	Programas Privados de investigación, Educación y Calificación en genómica		Organizaciones Internacionales

Los vínculos entre instituciones se presentan como líneas con flechas, a partir de organismos y representaciones más amplias, en dirección a programas o instituciones. Aceptando que el proceso innovativo no es lineal ni monocausal, pero sí difuso y multilíneal, las flechas podrían presentar puntas dobles, indicando que la innovación emerge de la interacción entre los diversos loci y los procesos de producción de conocimientos y de bienes. Pero las redes no son sólo cadenas innovativas, porque representan las dinámicas de mercado y existe una estructura de dirigibilidad política.

Red de Investigación Básica y Capacitación en Genómica de Vegetales en los Estados Unidos. Recursos provenientes de NSF



Fuentes: site www.nsf.gov/bio/dbi_pgr.htm, y site www.ceprap.ucdavis.edu y links.

tica implícita. Por esto, a pesar de considerarse el proceso innovativo como aquél definido en el modelo *chain linked* (OCDE, 1992), las flechas sólo definen las relaciones más próximas entre componentes institucionales de la red. El carácter variado y las múltiples formas a través de las cuales estos vínculos se materializan no permiten que las líneas estén diferenciadas. Sería necesario que se establecieran más de treinta tipos de vínculos y eslabones diferenciados que ilustrasen cada uno de los diferentes instrumentos de investigación colaborativa, instrumentos de transferencia de tecnología (TT), programas de calificación y capacitación de investigadores, sistemas de gerenciamiento de política científica y tecnológica, vínculos económico-financieros, tipos de recursos financieros compartimentados y dirigidos para las instituciones involucradas, tipos de instrumentos de comunicación y recolección de información. Por este motivo, los vínculos serán discutidos en forma particular y específica cada vez que sea necesario.

No se tiene la pretensión de representar un mapa exacto del sistema analizado. Claro que, desde las hipótesis de la economía evolucionista, y del modelo de la Triple Hélice, el conjunto de empresas e instituciones representadas debe sufrir alteraciones continuas a medida que el proceso innovativo transcurre en el tiempo. Estas representaciones son utilizadas

Leyenda de la red de Genómica de Plantas y recursos provenientes de NSF

NATO: North Atlantic Treaty Organisation NSF: National Science Foundation CBBL: Center for Biological and Computational Learning BIO: Biotechnological Industry Organisation BIO*: Directorate for Biological Sciences. DBI - División of Biological Infrastructure DEB: Division of Environmental Biology IBN: Integrative Biology and Neuroscience MCB: Molecular and Cellular Biosciences PGR: Plant Genoma Research Program. 14 programas públicos y uno privado (TIGR)
1. The Schnable Lab - Iowa State University: genética de tejidos vegetales. 2. The Plant Genoma Initiative at The State University of New Jersey: comparación genomas de sorgo, maíz y arroz. 3. TIGR: The Institute for Genomic Research: red virtual de investigación e información; laboratorio de invest. en virus, eubacterias, bacterias patógenas y eucariotas (inclusive genoma humano). 4. Clemson University Genomic Institute - International Institute for Agriculture and Environment Genomics 5. Solgenes - Genome databases for the Solanaceae: genoma de papa. 6. ISU Maize Genome Project - Iowa University: comparación de variedades de maíz. 7. Wild-wild EST: expressed sequences tags de trigo 8. The Plant Genome Initiative, University of New Jersey-Rutgers: comparación de genomas de sorgo, maíz y arroz. 9. University of Wisconsin: sistema on-line de metodologías de mapeado de genes. 10. Stress Function Genomics Consortia: Universidades de Arizona, Oklahoma y Purdue en colaboración con Oak Ridge Inst. 11. University of Missouri: mapeado y presentación genes de maíz; red virtual de información sobre genoma de maíz. 12. Medicago trunculata as the Model Species for Comparative and Functional Legume Genomics: marcadores genéticos y genoma de plantas de la familia Leguminosae. 13. ZmDB Maize Genome Database - Iowa University: genoma de maíz. 14. SynTom-The Arabidopsis - Tomato Synteny Database-Cornell University: desarrollo nuevos métodos de búsqueda de genes, determinación homología genética en vegetales, investigación s/ función de microsatélites en cromosomas. 15. Plant Biotechnology and Genome Center - Northern Illinois University: genoma de soja, integración de mapas genéticos y mapas físicos. 16. The Baker Lab: site no permite identificación, sólo que está situado en la Universidad de Berkeley, California.
CT: Cluster for Training; IGERT: Integrative Graduate Education and Research Training; REU: Research Experiences for Undergraduates; CRUI: Collaborative Research at Undergraduated Institutions; PRF: Post-doctoral Research Fellowships; PRFBI: Post-doctoral Research Fellowships in Biological Informatics; PRFMB: Post-doctoral Research Fellowships in Microbial Biology; PRF-BRE: Post-doctoral Research Fellowships in Biosciences Related to the University of California (UC); CEPRAP: Center of Engineering Plants Against Pathogens; BIO project: programa de educación de la Universidad de Iowa con BIO - industrias de biotecnología; Monsanto: DeKalb Genetics y Calgene Inc.

como material para demostrar que las dinámicas de producción de bienes y conocimientos pueden ser evaluadas a través del conjunto de los movimientos de las tres hélices. Se dio prioridad a la ejecución de mapas de los programas de investigación mayores y más importantes que implica-

ban la vinculación a sistemas de capacitación de investigadores y transferencia de biotecnologías. El criterio básico de preparación de cada mapa es la agencia pública de financiamiento a la investigación, en este caso la National Science Foundation (NSF).

Dinámicas innovativas y producción de conocimientos

La red de genómica de vegetales aquí analizada circunscribe las investigaciones derivadas de las actividades de fomento de la NSF. Los recursos internacionales provienen de la OTAN y los recursos privados de la *Bio-technological Industry Organization* (BIO). El principal programa de educación es el *Directorate for Biological Sciences* (BIO), que dirige recursos públicos del orden de US\$ 418 millones (año fiscal 1998), a través de más de 2 mil 900 becas de estudio individuales de la NSF. Son proyectos de investigación básica que procuran comprender los principios y mecanismos que gobiernan la vida, realizar investigaciones sobre la estructura de biomoléculas y de sus funciones celulares y orgánicas; y estudios de las relaciones ecológicas entre los organismos, y de ellos con el medio físico donde viven. Este tipo de investigación conduce al aprendizaje de todas las técnicas básicas de biología molecular para genómica.

Varios subprogramas se integran en BIO. El DBI es un programa de actividades de investigación contemporánea en biociencias que ensaya y desarrolla nuevas actividades de instrumentación en biología molecular. La DEB incluye proyectos de comprensión de las relaciones entre genes, proteínas y las interacciones ambientales proporcionadas por los individuos y las poblaciones que los comprenden. Así se capacitan no sólo investigadores de técnicas en biología molecular y *genomics*, sino también el personal capaz de realizar evaluaciones agronómicas referentes a relaciones ecológicas más precisas. Las relaciones huésped-parásito pueden ser verdaderamente reconocidas por medio de este tipo de investigación integrada. Para que se pueda integrar aún más los tipos de capacitación, los IBN focalizan investigaciones en las relaciones huésped-parásito, de manera de comprender las semejanzas estructurales entre proteínas esenciales para el mantenimiento de patologías microbianas. Finalmente, todos los aspectos evolutivos de los vegetales estudiados son cubiertos cuando las actividades de investigación sobre relaciones subcelulares e intercelulares se realizan por el MCB. Todos estos son planes de mediano plazo, a ser reevaluados cada dos años. El *Plant Genome Research* (PGR) es parte de un plan coordinado por la *Office of Science and Technology Policy* (OSTP) del Ministerio de Agricultura y busca producir investigacio-

nes cuyos objetivos deben dar una mayor comprensión sobre los fenómenos integrados de genética, agricultura, medio ambiente, energía y salud. Este programa de colaboración a nivel nacional² integra metas diversas, al respecto de los fenómenos biológicos relativos a las plantas y busca adquirir conocimientos sobre plantas de importancia económica y producir innovaciones comerciales en la agricultura. Según un documento de la NSF sobre el PGR,³ este programa es parte de una iniciativa de investigación a largo plazo que conduce hacia la comprensión de la estructura, organización y función del genoma de plantas de importancia comercial. Busca sustentar investigaciones y proyectos de infraestructura de conocimientos sobre genoma vegetal para el *design* de nuevas plantas de importancia económica y de procesos celulares de organismos pluricelulares.

El conjunto de subprogramas de capacitación de estudiantes de enseñanza media, el REU, investigaciones con instituciones de nivel medio, el CRU, IGERT abarca grupos multidisciplinarios de educación en genética, y por lo menos un área de soporte adicional tal como informática o biología molecular y los PDocRF, que subsidia proyectos institucionales de dos años y que buscan aumentar la capacidad de investigación y entrenamiento en estudios avanzados de biología genética y evolutiva en nivel de postdoctorado. A ellos se vinculan otros programas de bioinformática en nivel de posdoctorado *Fellowships in Biological Informatics*, en biología de microorganismos, *Fellowships in Microbial Biology*, en interacciones de los organismos con su medio, *Fellowships Related to the Environment* y en evolución molecular. El conjunto de programas atiende a más de 2000 investigadores y cubre toda la gama de investigaciones capaces de producir innovaciones de productos y procesos para las industrias de semillas, insumos y tecnología de plantío y de ensayos precompetitivos. Si tomamos en cuenta que estos programas están vinculados a los de capacitación de investigadores, el grupo de trabajo (fuerza de choque) en ciencia y tecnología no deja descubierta ningún área relativa a la producción de innovaciones en agricultura.

La presencia de la OTAN y del Departamento de Energía de los EUA en esta red revela intereses estratégicos de la investigación, la dimensión de largo plazo de las políticas de CyT y el carácter prospectivo de esta área de investigaciones.

Las inversiones en calidad y cantidad de personal científico en investigaciones de biología molecular, ingeniería, física y genética de mapeado y

² Site www.nsf.gov/pubs/awards/genome99.htm.

³ Site www.nsf.gov/bio/dbi/dbi_pgr.htm.

determinación de funcionalidad génica y bioinformática son imprescindibles para las investigaciones sobre relaciones entre huéspedes y parásitos, entre organismos y su ambiente, entre organismos y los factores abióticos de nutrición. Todos son factores capaces de provocar aumento en la productividad agrícola, y a despecho de que estas investigaciones sean trabajos científicos, representen un alto costo y sean dependientes de profesionales de alto nivel, se realizan importantes inversiones en los procesos que reúnen investigación y aprendizaje. El apoyo a las actividades de educación e investigación en ciencias biológicas de plantas es provisto también por medio del desarrollo de programas académicos, donde investigadores y profesores participan de simposios, *workshops*, desarrollo de grupos de estudio de educación en *genomics*, educación integrada a nivel de graduación y enseñanza media, y estudios de doctorado y postdoctorado.⁴

En términos de la estructura y del flujo de los sistemas de capacitación y aprendizaje técnico-científico, podemos constatar que presentan una importante articulación con las dinámicas de producción, de innovación y de mercado, es decir, con las empresas del sector de la agricultura biotecnológica.

Dinámicas de mercado

Las dinámicas de mercado y de producción de conocimientos presentan características bastante evidentes de interdependencia. Los proyectos públicos representan, en mayor medida, la investigación del mapeo y la determinación de funciones génicas.

Es el caso de todos los programas que aparecen en el mapa con números 1 al 15, de los cuales sólo uno no es público. El BIO, de la NSF, mantiene una rama de desarrollo de mapas de ADN de plantas y cada uno de ellos es portador de subprogramas de capacitación y de investigación básica. Ubicado en las dependencias de la Universidad de California en Davis, se articula con el CEPRAP (*Center for Engineering Plants Against Pathogens*) que realiza investigación sobre resistencia a patógenos y parásitos, comparación de genes de resistencia vegetal a sus enemigos naturales y educación para innovación tecnológica con recursos públicos y privados. En Berkeley, la misma universidad mantiene un centro de investigaciones públicas para el desarrollo de la biología de plantas. La elegibilidad para obtener recursos federales para los referidos programas pasa por sistemas de premios para los que las universidades públicas tienen

⁴ Site www.nsf.gov/bio/about.htm y links.

preferencia, pero pueden favorecer y originar también grupos mixtos como el CEPRAP. El único laboratorio privado donde se realizan investigaciones de biología molecular de vegetales -como DNAC,⁵ nuevos métodos de extracción de ADN y ARN, construcción de plásmidos⁶ para el desarrollo de modelos de sistemas de expresión genética, biblioteca de ADN, preparación de protocolos de procedimientos técnicos- es el de CalGene Incorporation, cuyo capital en un 49,9 % pertenece a Monsanto. CalGene también tiene sede en la ciudad de Davis y es socia del CEPRAP. A partir de las investigaciones de mapeo genómico y de determinación de funcionalidad es que Monsanto puede llegar a las tecnologías del NewLeaf -papa modificada genéticamente contra el abejorro-taladro, de Bollgard, tecnología de implantación de un gen contra la oruga del tabaco y del algodón-, del Yield Gard -variedad de maíz con gen contra insectos-taladro- y el Round-up Ready, el gen de tolerancia al herbicida Round-up, de la propia Monsanto, que es el más vendido en el mundo para soja, maíz, algodón y canola.

Monsanto posee un gran laboratorio en Saint Louis, en Missouri, que emplea casi mil investigadores. En este laboratorio no se realizan investigaciones de mapeo y determinación génicas;⁷ sólo se desarrollan tecnologías de aplicación de un gen en una planta, originando innovación del producto. Los mapas y las funciones de los genes utilizados en la creación de nuevos productos provienen de la investigación pública. Los genes de interés comercial de un organismo son "recortados" e introducidos en nuevos cultivos por medio de BAC's. Los casi mil investigadores del laboratorio de Saint Louis, capacitados para trabajar en ingeniería genética, son drenados del sistema de investigación básica en genética de plantas, representado por BIO de la NSF, CEPRAP y BIO Project de la Universidad de Iowa. Saint Louis es también la ciudad-sede de la Incyte Pharmaceuticals, asociada de la SmithKline Corporation, segunda mayor propietaria de patentes biotecnológicas de genes, con 356 patentes, apenas 22 menos que el propio gobierno de los EUA. Su presidente, Dr. Randall Scott, trabajó como investigador en la Universidad de Kansas y fue entrenado por BIO hasta que obtuvo su PhD.

Los dos últimos casos son ejemplos en los que la industria de biotecnología participa de proyectos de capacitación científica en los niveles regional y nacional, con la finalidad de obtener capital humano especializado. Las agendas de investigación de las universidades de los estados

⁵ *Complementan/* DNA es una hélice de ADN sintetizada a partir de un ARN mensajero y utilizada como prueba de localización de genes en mapas físicos.

⁶ ADN bacteriano circular independiente del genoma bacteriano; es capaz de integrarse al genoma de un huésped, y por esto puede ser utilizado como vector.

⁷ Site www.monsanto.com.

de gran tradición agrícola -Iowa, New Jersey, Illinois, Arizona, Wisconsin, Kansas y Oklahoma - son el resultado de políticas federales de los departamentos de Agricultura, con cinco proyectos en universidades públicas, y del Departamento de Energía, con un proyecto de genómica comparativa.

El acceso de los investigadores de la red a los bancos de datos genéticos *on line* pone al acceso público la mayoría de las informaciones científicas capaces de originar tecnologías. Otros diversos sistemas de metodologías de mapeo de genes son colocados a disposición de la comunidad de investigadores de la red pública o privada. El acceso a las informaciones se facilita porque los artículos científicos sólo son aceptados para la publicación si las secuencias o mapas genéticos ya están depositados en bancos de genes (programas cooperativos financiados por el sector público y por el sector privado, como es el caso del GenBank).

La red sobre el genoma del maíz ejemplifica este caso: *The Plant Genome Initiative at University of New Jersey* de la Universidad de Missouri y el *ZmDB Maize Genome Database*, de la Universidad de Iowa, son programas de genética de maíz. La DeKalb Genetics, de Illinois, subsidiaria de la Monsanto, comercializa actualmente varios linajes de semillas de maíz para alimentación animal. Sin las informaciones de los mapas genéticos del vegetal no sería posible desarrollar tales variedades con tenor de nutrientes específicos, resultados de investigaciones públicas de Iowa y Missouri. La DeKalb realiza investigaciones *in house* sólo de desarrollo de implante génico y no de mapeo y determinación de funcionalidad, ya que estas actividades son realizadas por el sector público. Otros consorcios de investigación y capacitación pueden ser verificados entre los sectores público y privado: SFGC (*Stress Function Genetics Consortia*) es un programa de investigación sobre genes de tolerancia vegetal; por esto son considerados estratégicos en términos de las empresas que comercializan nuevos cultivos. Es coordinado por el Oak Ridge Institute, del Oak Ridge National Laboratory, tradicionalmente ligado a las investigaciones estratégicas y de él participan las universidades de Arizona, Purdue y Oklahoma, estados de fuerte economía agrícola.

Las investigaciones complementarias pero no subvencionadas por la NSF completan la red: desarrollan equipos para la producción de imágenes celulares auxiliares en la comprensión del metabolismo vegetal (*Center for Light Microscope Imaging and Biotechnology* de la Carnegie Mellon University), de investigación sobre control del tiempo de vida en plantas (*Center for Biological Timing at University of Virginia*) y sobre ecología de microorganismos relacionados a la fertilidad y al régimen de manutención de nutrientes en suelos (*Center for Microbial Ecology* - Michigan State University). Ninguna de estas ramas de la investigación es desarrollada por la

industria, pero son esenciales para que un nuevo producto biotecnológico sea evaluado en ensayos precompetitivos.

La aproximación de la investigación básica a la industria puede ser inferida revisando el camino de las interacciones entre los programas educacionales, sistemas de bioinformática y producción científica. La red virtual privada TIGR es utilizada como depósito de bioinformaciones por todos los programas de investigación. Su utilización pública corresponde a inversiones indirectas del sector privado, que comparte el gerenciamiento de informaciones con el gobierno. Dado el volumen cada vez mayor de información y la creciente aplicación tecnológica de los resultados de las investigaciones, la TIGR posee un programa propio de educación, de investigaciones y de difusión de resultados, conferencias y entrenamiento de alta productividad en operaciones de laboratorio -Speaker Series, en asociación con NIST (*National Institute for Science and Technology*) y el DOE (*Department of Energy y la National Academy of Sciences*).

El soporte en bioinformática y en neurosistemas, capaz de aumentar la capacidad de almacenamiento de informaciones genéticas de plantas y de sus patógenos, CBBL (*Center for Biological and Computational Learning*), desarrollado por el MIT, es un programa de capacitación de investigadores en información sobre genética. Incorpora instrumentos de comparación de las secuencias idénticas entre organismos estudiados, con capacidad de reconocer secuencias de datos ya computados e intensamente utilizados por la industria.

La capacitación científica pública parece, en estos ejemplos, ir más allá de la simple mejora de la calidad del personal. Los vínculos formales entre las instituciones públicas y privadas que desarrollan los proyectos se materializan en nuevas biotecnologías. Los participantes de los proyectos transitan entre la empresa y la universidad, en cuanto los conocimientos son puestos al servicio del desarrollo de nuevos productos. Los *Faculty Early Career Development* son ciclos nacionales de reuniones entre el personal de la academia y el de la industria, donde se discute la agenda de investigación de la NSF y las agendas de desarrollo de productos en las empresas. Los resultados de estos encuentros son enviados a BIO, que debe asumir la responsabilidad por la contratación de nuevos investigadores por la industria y por la creación de grupos multidisciplinarios de estudios que establezcan colaboraciones entre universidad y empresa. Una gran parte de los programas aquí descriptos son el resultado de este tipo de interacción. La BIO y la NSF también promueven los *Impact on Emerging Technologies on Biological Sciences*, donde son discutidas la ética, cuestiones de propiedad intelectual y las dinámicas ambientales y sociales resultantes de las actividades en *genomics*.

Un gran número de nuevos indicadores de CyT ha sido construido para poder contemplar las capacidades de una empresa para vincularse a la investigación pública. La CHI (*Consumer Health Indicators*) presta servicios de análisis de mercado de alta tecnología, desarrolla y comercializa TechLine, metodología de evaluación de citación de patentes. Se utilizan tres grupos de indicadores: a) *indicadores tradicionales*: número de patentes, crecimiento de la tasa de patentes por área o porcentaje por empresa o instituto de investigación; b) *indicadores de citación*: índice de impacto (número de veces que las patentes de una empresa son citadas en los últimos cinco años, en relación a la citación total de patentes en los EUA), índice de potencial de la tecnología (número de patentes en relación a su calidad para el mercado) y c) *indicadores de vinculación* (en qué medida una empresa está utilizando ciencia básica para la obtención de nuevas patentes). La creación de indicadores de citación de patentes en artículos científicos o en otras patentes permite que se obtengan variables sobre el potencial tecnológico de la entidad evaluada.

Las empresas que presentan mayores índices de crecimiento en el número de patentes son las del sector de biotecnología en agricultura, en los últimos cinco años. De acuerdo con CHI, Monsanto y Pioneer Hi-Bred-DuPont presentan un crecimiento de 336% y 375% en sus tasas de patentamiento, respectivamente, lo que las convierte en las empresas más agresivas en términos de producción de nuevos productos en el sector agrícola. Estas y Novartis AG son las que más utilizan ciencia básica, según los indicadores de vinculación: ocupan las posiciones 750 y 800 en términos del tejido de I+D industrial y en consorcios públicos entre las mil empresas mundiales. En el sector de la agricultura ocupan los tres primeros lugares, siendo seguidas por otras tres empresas privadas y recién después por DOE.⁸

Dinámicas reflexivas y dirigibilidad política

Las estrategias de dirigibilidad de las interfaces entre producción innovativa y mercado están basadas en la competencia institucional. Los programas de investigación de instituciones públicas o privadas pueden recibir recursos del gobierno federal; los destinados a la capacitación son colocados a disposición de los dos sectores. Está claro que los sistemas de entrenamiento del personal científico están, en enorme proporción, subsidiados por el gobierno, pero sus resultados son expresados en el ambiente productivo. El

⁸ Site www.chiresearch.com/techline/techare3_example.htm.

Cuadro 1. Instrumentos de vinculación formal entre los sectores público y privado de investigación

Mecanismos de Transferencia de Tecnologías	Descripción	Características 1. Incluye: 2. Cuidados:
Intercambio entre Facultades/ Conferencias/ Publicaciones	Intercambio informal y libre de informaciones entre investigadores	1. Presentaciones en conferencias técnicas y profesionales/publicaciones en revistas científicas 2. Transferencia prematura de informaciones que puede originar depósito de patentes
Consultoría a un Laboratorio	Una parte externa al laboratorio provee asesoramiento y/o Información	1. Contrato formal específico (por escrito) 2. El consultor se asegura que no exista conflicto de propiedad intelectual
Consultoría por el Personal del Laboratorio	Consultoría realizada para un asociado del sector privado por personal de laboratorio para mejorar la transferencia de tecnología	1. El laboratorio debe aprobar los nombres de dos consultores 2. Se debe evitar conflictos de interés 2. Se debe tener cuidado con asuntos relacionados con propiedad Intelectual
Programa de Intercambio	Transferencia de personal científico tanto del laboratorio de una institución como del laboratorio de la otra parte para hacer Intercambio de <i>expertise</i> e información	1- Generalmente por un período mayor que un año
Contrato	Un contrato es un instrumento de adquisición acordado entre el gobierno y el contratante que desea conseguir insumos o servicios del gobierno	1. Puede ser utilizado para financiar I+D que podrá ser eventualmente transferido al sector privado. 1. El destino de los derechos de patente está determinado por el tipo de contratante que desempeña el trabajo 1. Las organizaciones sin fines de lucro o pequeñas empresas pueden obtener títulos de invenciones
Contrato de Costo Compartido	El contrato es establecido entre el gobierno y un contratante, en el cual los costos asociados al trabajo son repartidos según lo especificado en el contrato	1. Pagos en dinero y en bienes 1. Debe ser de beneficio mutuo para industria y gobierno 2. Los datos comercialmente obtenibles son protegidos por un período limitado de tiempo

Cuadro 1. Instrumentos de vinculación formal entre los sectores público y privado de investigación

Mecanismos de Transferencia de Tecnologías	Descripción	Características 1. Incluye: 2. Cuidados:
Premio y Acuerdo Cooperativo	Son aceptados por el gobierno sólo si los recursos financieros o derechos de propiedad fueran transferidos al receptor de forma de producir fomento o estímulo a la investigación	1. El gobierno podrá entrar en estos acuerdos 1. Débil relación entre el gobierno y el receptor, a excepción de la adquisición de instrumentos
Acuerdo de Investigación y Desarrollo Cooperativo (CRADA)	"Acuerdos entre uno o más laboratorios federales y uno o más participantes no-federales que, a través de sus instalaciones, provee personal, facilidades y otros recursos con o sin resarcimiento (pero no con fondos para socios no federales). Los socios no-federales proveen fondos, personal, servicios, facilidades, equipamientos u otras fuentes de recursos para conducir investigaciones específicas o desarrollar esfuerzos que son consistentes con las misiones de los laboratorios".	2. Certificación de que ningún fondo público deje el laboratorio 2. Los derechos de propiedad intelectual son negociados como parte del acuerdo 2. Cualquier información científica producida por el laboratorio será protegida por lo menos por cinco años
Licénciamiento por parte del gobierno para el sector privado	Transferencia de derechos menores del de propiedad para una tercera parte, permitiendo que ésta utilice la propiedad intelectual	1. Puede ser exclusiva o no exclusiva, para un campo de uso específico, para un área geográfica específica, o para la utilización en los EUA o en territorio extranjero 1. la mayor parte de las <i>royalties</i> deben retornar al laboratorio 1. Preferencia dada a la industria de los EUA y a las pequeñas empresas 1. Sujeto a la consideración de conflictos de interés 1. Son preferibles las licencias no exclusivas a las licencias exclusivas 1. Los solicitantes de la licencia deben presentar planos de comercialización de la invención 1. El gobierno obtiene licencia mundial, no exclusiva y libre de <i>royalties</i>

Cuadro 1. Instrumentos de vinculación formal entre los sectores público y privado de investigación

Mecanismos de Transferencia de Tecnologías	Descripción	Características 1. Incluye: 2. Cuidados:
Licénciamiento del sector privado al gobierno	Transferencia de derechos menores de propiedad para una tercera parte, permitiendo que ésta utilice la propiedad intelectual	1. El gobierno puede utilizar invenciones privadas para efectos de pago de justa compensación 1. Deben estar acompañados de reglas de procuración e instrucciones
Investigación para innovación en pequeñas empresas (SBIR)	SBIR es un programa de financiamiento federal para promover la participación de pequeñas empresas en programas gubernamentales	1. Las informaciones son confidenciales por un plazo máximo de dos años 1. El contratante podrá obtener título de propiedad por la invención
Uso de las instalaciones del usuario	Las Instalaciones del usuario son científicas y experimentales, únicas, complejas, que incluyen la utilización de equipamientos y <i>expertise</i> de un laboratorio gubernamental designado por el propio gobierno para ser utilizado por la comunidad técnica, universitaria e industrial o por otros laboratorios y otras entidades gubernamentales	1. Las instalaciones proyectadas por el usuario y otras fuentes de uso 1. La investigación puede ser conducida sobre bases propietarias o no propietarias 1. Para casos de I+D propietaria es necesario que todos los costos sean cubiertos por el usuario 1. Para casos de I+D no propietario, los títulos de la invención corresponden al usuario, pero las informaciones deben ser publicadas. 2. Si el contratante fuera otro gobierno o contrato internacional, los usuarios pueden ser sometidos a las cláusulas de propiedad intelectual
Transferencia de tecnología para pequeñas empresas (STTR)	Programa de contrato-premio para pequeñas empresas para formar acuerdos cooperativos con organizaciones calificadas como sin fines de lucro	1. Facultades y universidades sin fines de lucro, centros de I+D federales e instituciones sin fines de lucro 1. Cinco agencias federales -Defensa, Energía, Salud y Servicios Humanos, NSF y NASA 1- Modelados según SBIR y basados en CRADA

Cuadro 1. Instrumentos de vinculación formal entre los sectores público y privado de investigación

Mecanismos de Transferencia de Tecnologías	Descripción	Características 1. Incluye: 2. Cuidados:
Trabajos para terceros	Contrato entre agencia federal y socio no federal por contrato de I+D para ser ejecutado por laboratorio federal	1. Una única unidad que trabaja con finalidades de lucro 1. El trabajo debe estar ajustado a los objetivos y prioridades del <i>establishment</i> federal 1. En la mayoría de los casos, los costos deben ser cubiertos por un socio no federal

Fuentes para elaboración: NSF, NSBoard, 1998; BIO / documento: "Industry Trends in Research Support", 1998; Site www.doe.gov/ober; BIO/Doe documento: "Basic Research Funding", marzo de 1998.

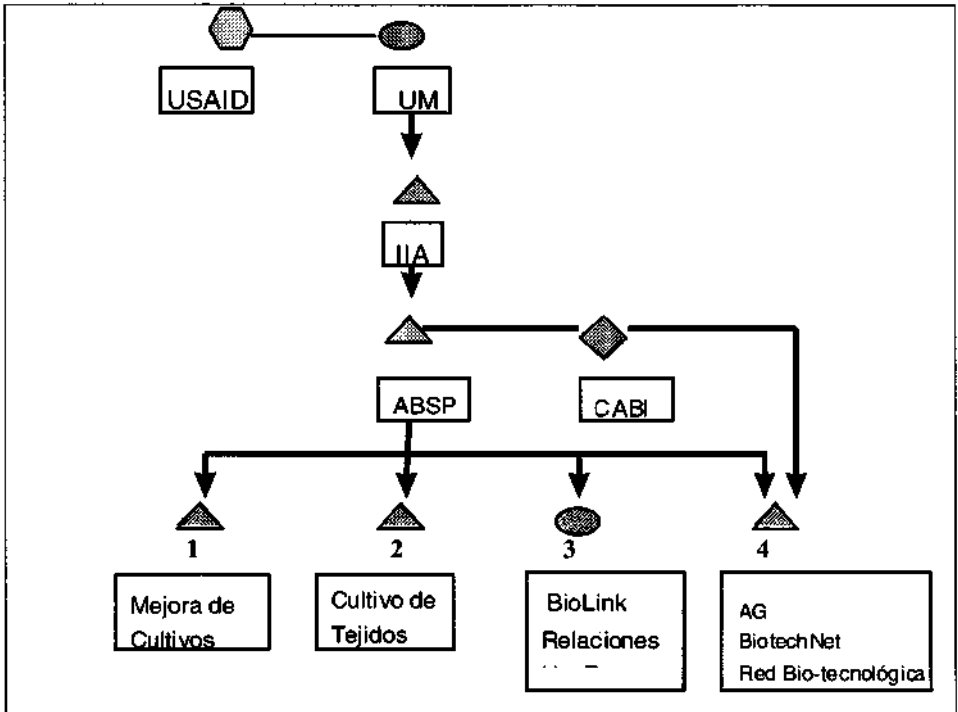
número de vínculos entre instituciones, representados por programas de investigación colaborativa, define la capacidad de relacionarse que presenta la red de investigaciones estadounidense. Son testigo de los indicadores de integración las diversas formas de *grants* interinstitucionales como los que realiza CEPRAP, y por el consorcio de integración de investigaciones del Oak Ridge Institute, y también por las inversiones en investigación de temas complementarios. Los contratos y los ciclos de conferencias entre el personal científico de la universidad y el de la empresa demuestran que de la interacción de esfuerzos entre las tres hélices resulta la estructura en red de la investigación en *genomics* de vegetales en los EUA, que parece resolver los problemas del alto costo de la investigación, de la exigencia de integración de recursos humanos especializados y del gran volumen de trabajo científico. El cuadro 1 presenta un resumen de los tipos de mecanismos de TT vigentes en la red de investigación.

La interacción de las dinámicas de la producción de conocimientos y de mercado en los niveles nacional e internacional también son resueltos por una red estratégica de investigación y entrenamiento que se presenta en el gráfico "Investigación estratégica en agricultura internacional en los Estados Unidos".

En esta red los vínculos formales están también representados por acuerdos y contratos de TT entre instituciones nacionales e internacionales, en el espectro de las definiciones de propiedad intelectual formuladas por el GATT. El documento que normatiza las formas de transferencia de tecnología de la ABSP⁹ revela su carácter de programa estratégico de CyT

⁹ Basic Research Funding: Statement of the Biotechnology Industry Organization, marzo de 1998.

Investigación Estratégica en Agricultura Internacional en los Estados Unidos



Leyenda: Investigación básica en laboratorio público, disponible para empresas de negocios agrícolas

USAID: US Agency for International Development; UM: University of Michigan; HA: Institute of International Agriculture; ABSP: Agricultural Biotechnology Support Project.

1. Mejoría de cultivos.

2. Cultivo de Tejidos Vegetales: investigación de producción de germoplasma y cultura de tejidos.

3. BioLink: promueve relaciones entre la universidad y las empresas.

4. AGBiotechNet: Servicios on line: operada por la AgBiotech West Incorporation patrocinada por BIO y CABI: Center for Agricultural Biotechnology International: ONG mundial.

Fuentes: sites www.iiu.msu.edu/absp, www.cadi.org y sus links.

que busca establecer una estructura mundial de políticas para la agricultura en los países en desarrollo y promover investigaciones de mejoramiento genético. En él se encuentran unidas estrategias públicas y privadas en ciencia para la mejoría de cultivos y tejidos vegetales, con mecanismos de TT. Integrados a la red se encuentra Biolink, que trata de la propiedad intelectual, bioaseguramiento, y promueve las relaciones universidad-empresa; y la BIO, que reúne 750 empresas industriales de biotecnología, instituciones académicas y centros estatales de investigación,

y que patrocina la red *on Une AgBiotechNet* y representa el puente entre el sector de investigación de vegetales y las otras dos grandes ramas de la red de innovaciones en genómica de los EUA.

Conclusiones: genes, secuencias y consecuencias

La estructura de la organización de la investigación en genómica en los EUA parece ser tanto causa como consecuencia de tres factores característicos de esta área: el alto costo de la investigación, la exigencia de integración de recursos humanos y el gran volumen de trabajo científico. La red es el resultado de la integración de programas de capacitación, investigación e innovación, a través de mecanismos de aproximación de intereses y desarrollo de investigaciones interinstitucionales.

Diversos tipos de vínculos pueden ser observados en la red. Los programas nacionales de capacitación, implementados con recursos financieros mayoritariamente públicos, atienden la demanda pública y privada por investigadores altamente calificados en varias áreas científicas. Son conjuntos de iniciativas capaces de mantener un *pool* de capital humano.

El sector público financia los grandes programas de investigación, como se muestra en la estructura de programas públicos numerados de 1 a 15. A través de la NSF y del Departamento de Agricultura, este sector mantiene programas nacionales de capacitación de investigadores e investigación básica en genómica de los vegetales de mayor importancia económica; a partir de ellos es posible obtener informaciones sobre mapas genéticos de los cultivos más comercializados mundialmente y que representan hoy los productos tecnológicos para agricultura sobre los cuales fue incorporada la mayor cantidad de ciencia; por ello mismo suscitan el mayor número de polémicas ecológicas y económicas (como es el caso de Round Up Ready, de Monsanto). Los indicadores del potencial tecnológico y de vinculación con la producción científica, como los del CHI, muestran que las empresas presentes en la red ocupan los primeros lugares en estas categorías, y son líderes mundiales en sus sectores.

La asociación empresa-universidad en la producción científica cooperativa conduce a la traducción de conocimientos en productos tecnológicos. La investigación de alto costo, que es mayoritariamente financiada por el sector público, recibe aporte directo e indirecto de recursos privados, mediante contratos de investigación, acuerdos cooperativos, consorcios, mecanismos de TT y otras formas de alianzas estratégicas. Estos mecanismos materializan los vínculos de aproximación entre los sectores industriales e instituciones de investigación, incluyendo actores de ambas

esferas en la producción de innovaciones. De esta forma, los conocimientos incorporados en las esferas pública y privada son compartidos, lo que facilita la resolución del problema creado por el carácter y la extensión de la investigación en genómica, que exige la integración de funciones pertenecientes a varias áreas del conocimiento humano.

Como ejemplo de mecanismos de aproximación, tenemos el ABSP-USAID y el CEPRAP-NSF que, para alcanzar objetivos tecnológicos determinados, permiten al sector industrial desarrollar investigaciones en acuerdos cooperativos (CRADA) o utilizar laboratorios públicos.

El papel del gobierno se encuentra bien visible en su función de articulación de mecanismos de TT, de control estratégico de investigaciones de largo plazo, y de apoyo y fomento a los programas de educación pública y de las investigaciones.

Además de ser la estructura que mejor permite el desempeño de actividades científicas y tecnológicas como forma de resolver los factores en su núcleo problemático, la red en genómica analizada demuestra ser una comunidad tecnocientífica, organizada en un sistema cooperativo de producción de innovaciones.

El patrón de integración entre los componentes de las tres esferas -universidad, empresa y gobierno- envuelve innumerables formas de vinculación institucional. La actividad de entrenamiento y calificación de recursos humanos realizados en el contexto de la investigación y producción innovativa es ventajosa tanto para la industria como para el sector público. La utilización de mecanismos de aproximación también incluye el uso compartido de activos complementarios, como *databases*, programas de educación básica y avanzada, y de instalaciones de laboratorios. El hecho de existir intensa actividad de I+D industrial articulada a los programas de investigación pública, provoca una ruptura en la clásica cuestión sobre la dificultad existente en la interacción entre instituciones de carácter y objetivos tan diferentes como la universidad y la empresa. El significativo aumento del número de patentes en biotecnología depositadas por las empresas involucradas demuestra que la red es un sistema que mejora el aprendizaje público y privado de producción de nuevos productos biotecnológicos. La red mantiene el conocimiento incorporado en ella y establece cierta integración vertical entre empresas de biotecnología y el sistema de producción científica básica.

Este patrón de reacomodamiento institucional que busca la funcionalidad del flujo de conocimientos entre el mundo académico y la industria es observado en los dos otros grandes programas de genómica de los EUA -HGP y de microorganismos- y de la Comunidad Europea. En ellos se consolida un nuevo modo de producción basado en el conocimiento, donde

las esferas de la universidad, de la empresa y del gobierno entran en estrechas relaciones para obtener la plena valorización comercial de los esfuerzos del desarrollo científico.

Bibliografía

Nelson, R. (1992), "Economic growth via the co-evolution of technology and institutions", en Leydesdorff & van den Besselaar (1994), pp. 21-32.

Leydesdorff, L., Etzkowitz, H. (1996), "Emergence of la Triple Helix of university-industry-government relationships", *Science and Public Policy*, v. 23, n. 5, pp. 279-286.

Mowery, D., Rosenberg, N. (1989), *Technology and the Pursuit of Economic Growth*. Cambridge University Press.

OCDE (1992), *Technology and the Economy. The key relationships*, Paris.