

Capacitación tecnológica y patrones tecnológicos: una visión a partir de los países en desarrollo*

*Sandra Negraes Brisolla***

En este artículo la autora analiza el proceso de capacitación tecnológica a partir de considerar el patrón tecnológico en el que es efectuado el esfuerzo de capacitación. En primer lugar, define los conceptos involucrados y considera los determinantes de la innovación en países dependientes. En segundo lugar, se refiere a la integración de la investigación académica en las redes relativas a la innovación y la necesidad de la conexión de esto con políticas públicas para la conformación del sistema nacional de innovación. En tercer lugar, expone los casos en estudio en la Unicamp. Finalmente, expone las conclusiones señalando los blancos a los que deben dirigirse las futuras líneas de acción de cualquier política en la materia.

1. Patrones tecnológicos en países en desarrollo

Este trabajo instala la discusión sobre el proceso de capacitación tecnológica teniendo en cuenta el patrón tecnológico en el que es efectuado el esfuerzo de la capacitación. El concepto de patrón tecnológico supone una discusión previa sobre el concepto de tecnología, del cual es derivado.

Inicialmente el progreso técnico era representado por una "función de producción" cuya fórmula significaba una cierta proporción en que el capital (entendido aquí como equivalente a los demás insumos necesarios para la producción, además del trabajo) se combina con determinada cantidad de trabajo para producir un determinado producto. Como observa correctamente Sagasti, el concepto de función de producción es utilizado por los economistas neoclásicos principalmente para describir el proceso productivo a nivel de la empresa.¹ Las

* Trabajo presentado en el Simposio sobre Ingeniería de Materiales de la Universidad Federal de San Carlos, en San Carlos, SP, del 23 al 25 de agosto de 1995.

** Departamento de Política Científica y Tecnológica del Instituto de Geociencias de la Unicamp. Coordinadora del Núcleo de Política Científica y Tecnológica de la misma Universidad.

¹ Véase Sagasti (1980), pp. 8-9.

tentativas de trabajar con el concepto a nivel sectorial y nacional siempre estuvieron envueltas en dificultades, por contener muchas simplificaciones, lo que termina dejando al concepto sin ninguna fuerza explicativa. El progreso técnico envuelve modificaciones (dislocamientos) de la función de producción con un sentido totalmente imprevisible. En este sentido, hasta Schumpeter define a la innovación como la introducción de una nueva función de producción.

En otro marco teórico, la tecnología es vista como una mercancía, cuyo valor de uso consiste en las características específicas de determinado conocimiento, que lo tornan apto para imponer determinado ritmo a la valorización del capital, una vez creadas las condiciones materiales de esa valorización (o sea, una vez aplicado el capital). Es debido a ese valor de uso especial que la tecnología adquiere un valor de cambio y es buscada en el mercado. Desde la perspectiva de su valor de cambio, la tecnología como mercancía puede ser apropiada privadamente e inclusive puede obtenerse de ella una renta monopólica por su utilización. Ese conocimiento, por otro lado, puede estar incorporado en mercancías (como las máquinas) o puede ser -y es cada vez más- un bien intangible.

Tales características tienen por lo menos dos consecuencias importantes. La primera es que la tecnología constituye un fenómeno social. Si es apropiada en forma privada es porque las relaciones de apropiación del capitalismo así lo permiten. La forma en que eso se da también está determinada socialmente. Así, en algunas sociedades se produce principalmente a través de la adquisición de patentes, y en otras, por otras formas de adquisición tecnológica. Al ser un fenómeno social, establece relaciones complejas con el entorno social donde tal adquisición es puesta en funcionamiento.

La segunda consecuencia es la actual tendencia por la cual la tecnología se ve desprovista cada vez más de su forma material. Como se trata de un conocimiento, su adquisición como mercancía comercializable envuelve mayores dificultades que las existentes en la compra de tecnología incorporada en equipos. Su transferencia hacia otros países exige modificaciones del entorno social inmediato (que incluye la capacitación del personal de la empresa que compra esa tecnología) y también de las condiciones socioculturales generales, lo que muchas veces incluye acciones dirigidas hacia esa finalidad por un tiempo considerable.

De esa forma, el patrón tecnológico, de acuerdo con el marco teórico utilizado, va a ser definido por las condiciones histórico-socio-culturales a través de las cuales es incorporada la tecnología. En los

países en desarrollo predomina el patrón de importación de tecnología, por razones históricas que no cabe aquí detallar.

Por lo tanto, es en ese patrón que ha de analizarse el proceso de capacitación tecnológica en países como el nuestro.

Por otro lado, la capacitación consiste en el proceso a través del cual se hace un esfuerzo sistemático para adquirir conocimientos útiles y apropiables con la finalidad de dominar determinada tecnología o conjunto de tecnologías. Este esfuerzo claramente sobrepasa las fronteras del mundo empresarial para incluir las modificaciones necesarias a las instituciones volcadas a la creación de las condiciones generales para la reproducción del capital.

2. Determinantes de la innovación en países dependientes

Para que se pueda tener una idea más clara sobre las perspectivas de la capacitación tecnológica en países como el nuestro, se torna necesario estudiar los determinantes de la dinámica del progreso técnico en las condiciones de la industrialización tardía, o sea los patrones tecnológicos dentro de los cuales se procesa su desarrollo económico.

No cabe reproducir aquí toda la polémica relativa a la teoría del desarrollo económico para los países en desarrollo, pero no se pueden ignorar los elementos que ayudan a entender las características específicas del progreso técnico en países cuya dinámica tecnológica, e incluso la industrial, está dictada por fuertes relaciones de dependencia establecida con el centro de la dinámica capitalista a nivel internacional.

Así, los países difieren en cuanto a la oferta de educación pública con sistemas de entrenamiento: el contraste es notable entre Corea y Taiwán por un lado y el Brasil por el otro. Corea y Taiwán constituyen notorios casos exitosos de crecimiento conducido por la educación. Los casos de la Argentina e Israel sugieren que la disponibilidad de una población educada de por sí no es condición suficiente.²

Otro factor que diferencia a los países es el conjunto de políticas fiscales, monetarias y comerciales. Hay países cuyos gobiernos otor-

² Véase Nelson (1993).

garon fondos considerables para la investigación académica y gubernamental y programas de gobierno que apoyaron directamente la I+D de las empresas. Los especialistas en la innovación ahora han entendido que en muchos sectores la investigación universitaria con financiación pública es parte importante del sistema de innovación sectorial. Parte sustancial de esos recursos está destinada a áreas directamente relacionadas con necesidades tecnológicas o industriales, como la agronomía, la patología, la ciencia de la computación, ciencia de los materiales, la ingeniería química y eléctrica. La relevancia de esas asignaciones varía de área en área y respecto de los mecanismos puestos en práctica para la interacción. Los países que son innovadores en química fina y en farmacología tienen una investigación universitaria fuerte en las ciencias biomédicas y en la química. Una agricultura y una agroindustria fuertes son asociadas con investigaciones significativas en esas áreas en las universidades o institutos públicos de investigación.³

La tecnología es la razón de la rápida industrialización de los NIES. Estudios empíricos detallados de las experiencias de Corea, Taiwán y Singapur muestran que los gobiernos de esos países fueron intervencionistas en alto grado. El gobierno de Corea usó créditos subsidiados y racionalizó el crédito de manera claramente selectiva para favorecer a sectores y empresas dirigiendo la inversión a industrias estratégicas. El gobierno de Taiwán se apoyó fuertemente en incentivos fiscales administrados también de manera selectiva para promover ciertas prioridades industriales. Las empresas públicas en Taiwán desempeñaron un papel mucho más importante que en Corea en la formación de capital fijo. Fue grande el papel de la intervención política explícita en la creación de ventajas comparativas que se habrían desarrollado con mucha más lentitud respondiendo a las fuerzas del mercado. Muchas de las industrias de los NIES que se tornaron exitosos exportadores nacieron sustituyendo importaciones con protección gubernamental. Sólo el conocimiento de ese proceso permite entender el éxito de los países asiáticos. El *boom* inicial de la exportación de manufacturas en los países asiáticos fue fuertemente dependiente de las importaciones, siendo limitado el valor agregado local. Muchos de los bienes intermedios son *commodities*, exigen un alto volumen de producción para resultar económicos. Así, aunque el mercado interno estuviera

³ Véase Nelson, *op. cit.*

protegido, las exportaciones eran necesarias para que la producción fuera eficiente. Por eso el gobierno de Corea subsidió a los exportadores de bienes intensivos en capital hasta que se tornaran competitivos a nivel internacional.⁴

En el sudeste asiático existió la determinación del gobierno de extraer "garantías de desempeño" a cambio de apoyo estatal. La diferencia con América Latina no fue entre mercados protegidos y no protegidos. En Asia oriental las empresas deberían "pagar" el tratamiento especial que recibían del gobierno demostrando capacidad de exportar. Otra diferencia reside en la disparidad de la concentración de la renta entre las dos regiones, que determina la existencia de discrepancias en el ahorro entre las mismas y el reducido mercado interno en América Latina, que torna ineficientes industrias donde la economía de escala es importante. La diferencia de actividad innovadora medida por el gasto en I+D como proporción del PBI entre las dos regiones ha sido señalada para "explicar" la divergencia en las tasas de crecimiento. La capacidad del estado para invertir en educación fue restringida severamente por la crisis fiscal. El porcentaje de inversión en educación sobre el presupuesto del gobierno federal cayó de 16,4% a 8,7% en México y del 20% al 6% en la Argentina entre 1965 y 1988.⁵

Todas estas consideraciones demuestran que la mayoría de las historias exitosas de capacitación industrial son producto de una combinación de condiciones internacionales favorables y de la adopción de políticas adecuadas por parte de los estados nacionales, creando el ambiente necesario para la superación de las restricciones a la innovación creadas por la situación de países con un patrón tecnológico de dependencia en relación con los centros irradiadores de nuevas tecnologías.

3. El desafío de la capacitación tecnológica

"La tecnología se distingue de la información porque esta última es apenas un subconjunto de la primera", según Dosi.⁶

⁴ Véase OCDE (1992), cap. 12.

⁵ *Ibid.*

⁶ Cf. Dosi *et al.* (1990).

La tecnología invariablemente combina información codificada, retirada de la experiencia previa y de la actividad científica normal, con el conocimiento no codificado, específico para cada industria o incluso para cada empresa. En las industrias basadas en la ciencia, el conocimiento técnico y científico codificado es complementario de las formas más tácitas de conocimiento. Parte de ese conocimiento será con el tiempo codificado en las disciplinas de ingeniería. Otras permanecerán siempre específicas a la empresa. Cada tecnología tiene elementos de conocimiento tácito y específico que no puede ser volcado en un papel, y por lo tanto no puede ser enteramente difundido.

Dosi sugiere que

[...] el carácter tácito se refiere a aquellos elementos del conocimiento, como la visión de la empresa y otros, que tienen los individuos pero son difíciles de ser definidos, codificados o publicados, que ellos mismos no pueden expresar y que difieren de una persona a otra, pero pueden ser hasta cierto punto compartidos por colaboradores y colegas que tienen una experiencia común. Dicha información generalmente puede con facilidad tomar la forma de algoritmos. El conocimiento normalmente va a requerir mecanismos más complejos de comunicación y transferencia. Puede ser más fácilmente apropiado en forma privada y requiere procesos de aprendizaje especiales.

Esa distinción conceptual es muy importante porque está en la raíz de la diferenciación que se observa en los procesos de construcción del conocimiento, por un lado, y de la técnica, por el otro. La gran novedad del nuevo paradigma tecnológico se encuentra precisamente en la nueva y compleja red de interrelación que se establece entre conocimiento codificado e información técnica, entre ciencia y tecnología.

La institución de redes relativas a la innovación, una tentativa de dirigir los esfuerzos de investigación académicos con el fin de fortalecer los procesos innovativos, es reconocidamente un componente estratégico de los llamados sistemas nacionales de innovación. Esas redes, constituidas por científicos actuantes en las diversas áreas del conocimiento vinculados directa o indirectamente al medio empresarial, reflejan una necesidad de las empresas de recurrir a conocimientos externos a sus fronteras para seguir el paso acelerado del proceso innovador. Las empresas visualizan la participación de las universidades en esas redes como proporcionando "una antena, una ventana abierta para la investigación", y es ahí donde surgen las ideas nuevas,

debido a los contactos internacionales mantenidos por los científicos académicos (véase OCDE, 1992).

Aunque éste no sea un fenómeno nuevo,

[...] sólo hoy parece posible enfocar la dimensión de las acciones dirigidas a la consolidación de lazos y redes relativos a la innovación de manera más explícita. En una economía altamente internacionalizada, parte de esas redes que surgen de la cooperación entre empresas necesariamente trasciende las fronteras de los estados nacionales. Las redes son componentes de políticas dirigidas hacia la competitividad. (OCDE, 1992, cap. 3).

Las nuevas relaciones de cooperación que reemplazan la otrora relación antagónica entre empresas competidoras constituyen una marca distintiva del nuevo modo de producción de conocimiento y de las nuevas tecnologías.

El cuadro general que se verifica a partir de finales de los setenta es aquel donde se perciben sinergias y fertilización cruzada tanto entre disciplinas científicas como entre avances científicos y progreso tecnológico [...] La extensión del carácter sistémico a las tecnologías es un resultado inevitable de esos desarrollos. Estos crearon una situación de carencia de capacidad (*capability squeeze*) motivada por el gran número de campos técnicos relevantes para el crecimiento de las empresas y por la aparición de requisitos totalmente nuevos para el progreso técnico significativo. Muchas veces ellas van a precisar adquirir conocimientos, *know-how* y capacidades en ambientes externos a la organización industrial, como en las universidades (cuando el conocimiento necesario todavía está próximo a la investigación básica) o en otras empresas (OCDE, 1992, cap. 3).

Más que una aproximación creciente entre las esferas de producción de ciencia y tecnología -que también se procesa- el nuevo paradigma tecnológico exige una reestructuración completa de la red de relaciones entre los agentes económicos, y también entre éstos y las demás instituciones necesarias para el funcionamiento del sistema.

Hay que destacar también el carácter cada vez más interdisciplinario de ese conocimiento, lo que constituye un desafío para la reestructuración de la investigación académica a fin de atender esos requisitos. Así, el creciente contenido de conocimiento en la composición del valor de los bienes y servicios, y como consecuencia la preponderancia de los bienes intangibles en la formación de precios del mercado, provoca una transformación fundamental en el tratamiento

del trabajo científico y en la relación con las diferentes comunidades científicas por parte de la sociedad industrial.

La comercialización del producto de la investigación también tiene su reflejo sobre el mundo académico, modificando su cultura e incorporando valores ajenos a los de la institución universitaria. Este proceso lleva frecuentemente a consecuencias que trascienden el marco de posibilidades de la propia academia. Judith Sutz (1994) apunta el hecho de que "el valor comercial del conocimiento es crecientemente aceptado por los científicos". Pero también reconoce que la investigación tecnológica debe contar con espacio propio, diferente a los laboratorios académicos:

[...] las condiciones de laboratorio de producción se convierten en espacios imprescindibles para la investigación, difícilmente reproducibles en el ámbito académico.

Por otro lado, la universidad tiene su propia veta de investigación, donde las empresas industriales no tienen las mismas posibilidades.

Salvo el caso de algunas empresas muy grandes -IBM, Bell Labs-, la lógica de la investigación básica no puede ser abordada en plantas apropiadas para una I+D, donde la investigación está dirigida a problemas específicos. Esta debe ser tarea de la universidad (Sutz, 1994).

Asimismo, la distancia en el tiempo entre la generación o descubrimiento de un principio científico y el desarrollo tecnológico de productos y procesos que lo utilizan también ha disminuido progresivamente, lo que provocó inclusive, en algunos casos, una iniciativa, por parte de la industria, de inversión en investigación básica dentro de sus laboratorios (específicamente el caso de la industria de telecomunicaciones, y más concretamente el ejemplo de Bell Labs).

Contribuye a la cooperación en el emprendimiento de I+D la tendencia al crecimiento de los costos de investigación y desarrollo, tanto para los departamentos de I+D de las empresas industriales, de la investigación intramuros de las empresas, como de la investigación académica, de la investigación básica desinteresada. La tendencia al crecimiento en el tamaño de los equipos de investigación, el encarecimiento de los equipamientos de laboratorio necesarios y el alto grado de incertidumbre que aqueja a ese tipo de actividades, han provocado una tentativa de división del alto riesgo que se corre, sea con empresas del mismo sector, sea con universidades e institutos de

investigación públicos y privados (OCDE, 1992). Esto sucede principalmente en relación con la investigación precompetitiva, pues en este nivel el riesgo de filtrado de información es relativo y poco importante, teniendo en cuenta la necesidad de todo un trabajo posterior de desarrollo de productos y procesos que diferenciarán las ganancias en el estadio final. De cualquier forma, se reconoce la identidad de intereses hasta con los más férreos competidores en la fase precompetitiva, pues se trata de salir antes que las demás ramas industriales en la innovación tecnológica y por lo tanto de asegurar situaciones de privilegio en relación con la media de las industrias.

4. La integración de la investigación académica en las redes relativas a la innovación

La preocupación por movilizar las fuerzas vivas de la sociedad, en el sentido de reactivar la actividad económica para permitir la superación de la crisis mundial que atravesamos, ha sido responsable de las tentativas de ubicar a la universidad al servicio del desarrollo a través de la mayor vinculación de la investigación académica con las necesidades de la estructura industrial. Sin embargo, aunque sea válido aumentar la movilización de la actividad académica para fortalecer los puntos débiles de la actividad económica -y en esto hay un amplio margen de posibilidades que se abren a las capacidades instaladas en el medio académico, comenzando por las propias carencias dentro del sector educacional, recuperando funciones del pasado en la estructuración del sistema de enseñanza en sus distintos niveles- es preciso reconocer las propias limitaciones para que no se creen ilusiones de que la solución pueda ser tecnocrática y no social.

En ese sentido, los estudios realizados por el Departamento y por el Núcleo de Política Científica y Tecnológica de la Unicamp revelan por lo menos dos cosas. Primero, que la investigación académica, en el caso en que sea aplicada, aunque se aventure a llegar más cerca del producto o proceso de la actividad industrial, difícilmente es directamente tecnológica. Ella exigirá, con certeza, un trabajo de desarrollo del producto, de *scaling up* imposible de encarar en los límites de un laboratorio universitario. El trabajo de desarrollo tecnológico, por otro lado, es una actividad de riesgo que exige algún apoyo público, pero no debe ser realizado dentro de la universidad, porque los desafíos que aparecen están mucho más referidos a conocimientos específicos relacionados con la industria o incluso con la

actividad específica desempeñada por la empresa, que no interesan ni encuentran capacidades para ser ejecutadas dentro de las universidades. Hay consenso general entre los estudiosos del tema en que las necesidades de la industria son mucho mejor atendidas cuando se mantiene una estructura pública de investigación a partir de la cual las empresas industriales puedan desarrollar, por sí mismas, tecnologías comerciales (Sutz, 1993).

Así, hoy está claro que el esfuerzo de I+D de las empresas no puede ser sustituido por la investigación académica. Más que eso: la investigación universitaria de carácter utilitario generalmente se combina con, y es promovida por, la I+D empresarial. Esa realidad abre interrogantes sobre la dinámica posible en el sistema de innovación de los países dependientes, donde son contadas las empresas que poseen un departamento de I+D. Eso es claramente producto del patrón tecnológico de esos países, basado en la importación de tecnologías. Sería inútil, por esta razón, intentar redireccionar los recursos públicos del sistema científico hacia las empresas para fomentar el desarrollo tecnológico. Más aún: la única tentativa legítima de desarrollo de un sistema tecnológico, ya no alternativo, pero cercano al progreso técnico a nivel internacional, es hacer que el mismo esté estrechamente relacionado con el desarrollo científico. En consecuencia, hay que tratar de preservar lo que se logró en ese sentido.

Otro aspecto relevante está constituido por el esfuerzo del sector público por fomentar el establecimiento de esas redes y de la cooperación. En numerosos países europeos, en los Estados Unidos, en Japón y en Australia, el estado ha tenido un papel relevante al hacer posible una relación más intensa entre universidad y empresa, tanto por la creación de líneas de crédito específicas para ese objetivo, como principalmente a través de la construcción de "centros de innovación", entidades destinadas a continuar la investigación académica hasta el punto en que las empresas puedan asumir el riesgo de desarrollo del producto o del proceso dentro de sus propios muros. Se llena, de esta manera, el vacío dejado por el "eslabón perdido" entre la investigación académica y la aplicación industrial (véase, por ejemplo, Turpin, Sullivan & Deville, 1993).

En los Estados Unidos esos centros fueron creados inicialmente por iniciativa de la National Science Foundation y se denominan "Centros de Investigación Universidad-Industria" (CPUi). Cohen, Florida y Goe (1993) estimaron que los cerca de 1.000 CPUi existentes en 1990 gastaron 2.700 millones de dólares en actividades en I+D, financiadas por un presupuesto total de aproximadamente 4.300 millones. Buena

parte del resto de esos recursos fue gastada en actividades de educación y entrenamiento. La industria financió el 31% del presupuesto total de los CPUI, porcentaje que excede en gran medida el 7% del financiamiento industrial a la investigación académica.⁷

En el Brasil, la producción científica puede ser revigorizada y reorientada por políticas públicas de incentivo que retomen niveles de financiamiento a las investigaciones por parte de los organismos, corrigiendo algunas distorsiones verificadas en las políticas practicadas por éstos, con la finalidad de aumentar su eficiencia y reducir los errores en la selección y en el acompañamiento de los proyectos.

5. Políticas públicas para la conformación del sistema nacional de innovación

Una acción ciertamente fundamental de la política científica y tecnológica actual es aquella volcada al estímulo de la conformación de redes relativas a la innovación. Estas parecen constituir el mecanismo capaz de traducir los esfuerzos de interacción entre universidad y empresa en medidas efectivas de colaboración entre instituciones de cultura muy diferenciadas, pero que pueden ser complementarias.

Las grandes empresas que operan con altas tecnologías poseen las redes más amplias y más eficientemente gerenciadas de relacionamiento con los sistemas universitarios. A pesar de que esas empresas tienen I+D internas significativas, los grupos académicos son considerados valiosos como una extensión de la capacidad de investigación. Las empresas reconocen que como los investigadores académicos senior pertenecen a las redes científicas bien desarrolladas, las universidades tienen contactos internacionales y pueden tener acceso más fácil a ideas que están surgiendo, principalmente las que están apareciendo en el exterior (OCDE, 1992, cap. 3).

También se crean redes entre el personal de los laboratorios gubernamentales y entre aquel de los departamentos de I+D de las empresas. Son redes más cerradas que aquellas de las ciencias básicas, pues parte del conocimiento es tácito. El *know-how*, las habilidades

⁷ NSB(1993), pp.120-122.

prácticas acumuladas, todo este tipo de conocimiento es apropiable; disponer de él constituye una "ventaja competitiva". Es abundante el comercio informal de *know-how*, de "secretos comerciales" y conocimiento tácito abarcando las relaciones de redes.⁸

El objetivo de los acuerdos es claro: buscar nuevas estrategias de innovación a través de la colaboración, sin que los pares tengan que renunciar a su propia identidad y personalidad. Las empresas tienen preferencia por relaciones menos formales y más flexibles, que reflejan mejor la identidad diferenciada de los participantes (OCDE, 1992, cap. 3).

Así, las transformaciones por las que tendrán que pasar las universidades públicas y privadas en el ámbito nacional serán profundas, con intensos cambios en el comportamiento y en la cultura académica, como respuesta a la modificación introducida en la estructuración de las relaciones sociales provocadas por el nuevo paradigma técnico-económico. Esto no significa, sin embargo, un cambio tan radical que haga desaparecer las características básicas de la institución académica, pues deben ser preservadas sus funciones clásicas, con el riesgo de sacrificar el conjunto del proyecto.

Esta nueva universidad deberá prepararse para el "nuevo contrato social" con la sociedad. Etzkovitz y Leydesdorff destacan la diferencia entre el antiguo contrato social, basado en el modelo lineal de innovación, que esperaba resultados en la producción de conocimiento para la economía recién a largo plazo, con el nuevo contrato. Hoy es necesario

[...] un modelo de innovación en espiral para captar los múltiples y recíprocos lazos en diferentes estadios de capitalización de conocimiento.

Los modelos lineales de desarrollo "tirados por la demanda" o "empujados por la tecnología" cedieron lugar a los modelos evolucionistas, que analizan el desarrollo en términos de redes. Los autores reconocen las relaciones entre academia-industria-gobierno como una "triple hélice" que deberá ser un componente clave de cualquier estrategia de innovación nacional o multinacional al final del siglo xx.⁹

⁸ Véase OCDE (1992).

⁹ Cf. Etzkovitz y Leydesdorff (1995), p. 2.

La modificación necesaria en el medio académico para que el conocimiento científico pueda transformarse en actividad económica es vista como una innovación social fundamental.¹⁰ En realidad, el sistema social poco se modificó en los últimos treinta años, cuando profundas transformaciones tecnológicas coincidieron con cambios políticos radicales.

Por otro lado, el sistema de redes puede ser un nuevo modo de producción y control de conocimiento.¹¹ Para esta nueva etapa, en que el conocimiento pasa a ser el insumo más importante de la economía, la relación que se va a establecer dentro de la tríada universidad-empresa-estado será la base de toda la actividad innovativa.

Para los países en desarrollo, el desafío surge principalmente en el hecho de saber aprovechar las brechas de la economía internacional, descubriendo sus vocaciones tecnológicas y dedicándose a ciertos nichos del mercado. Será mucho más importante evaluar correctamente sus dificultades, consecuencia de la dependencia tecnológica estructural.

En el caso del Brasil, se destaca inicialmente la carencia de educación formal de su población, que constituye un handicap importante para la introducción de las nuevas tecnologías. Estas exigen un trabajador versátil y capaz de ejecutar tareas múltiples y complejas, para lo cual la educación básica adecuada es fundamental. Asociada a la extensión del proceso educativo está la distribución de la renta como producto de la calificación del trabajador, que se torna posible a través de la elevación de la productividad. Sólo el aumento de los salarios reales podrá permitir que el trabajador se identifique realmente con el proceso de trabajo, pues estará también participando de alguna manera en el producto de ese trabajo. La inversión del estado en esa función pública clásica es por lo tanto una medida clave para las innovaciones *soft*, aquellas restringidas a la organización empresarial, la organización de los procesos de trabajo.

Para la política científica y tecnológica, en primer lugar es importante establecer algunas metas relativas a la capacitación. En algunas áreas se debe tener la capacidad de generar tecnología propia (pero no necesariamente en forma aislada), lo que significa tener al-

¹⁰ Véase Etzkovitz y Webster (1995), p. 482.

¹¹ *Ibid.*; p. 5.

gunas prioridades para la inversión en ciencia y en tecnología. La elección de esas áreas deberá obedecer a criterios vinculados con la tradición científica e industrial del país. No se puede ser bueno en todo, aunque la decisión de establecer prioridades no significa el abandono de ninguna área.

En segundo lugar, es preciso que esa priorización sea el reflejo de la política industrial y agrícola, y consecuencia de la demanda dictada por algunas inversiones e incentivos al desarrollo de sectores vinculados con las áreas favorecidas. La política económica, por otro lado, debe mantener una estrecha relación con las prioridades sociales, que resultan del diagnóstico de las dificultades de implementación de nuevas tecnologías como producto de una situación estructural de miseria en el país. En ese sentido, si todas las políticas públicas -inclusive la política de CyT- priorizan el desarrollo de los sectores volcados hacia la satisfacción de las necesidades básicas de la población brasileña, el crecimiento del país tendrá que ser procesado necesariamente en forma más armoniosa con el desarrollo social.

En tercer lugar, se trata de crear líneas de producción suficientemente articuladas para que el esfuerzo de innovación en un sector pueda ser difundido a través de todo el sistema. En ese sentido, es deseable priorizar sectores relacionados entre sí, de alguna forma. El carácter sistémico del esfuerzo innovativo asegura sus posibilidades de éxito en un mundo globalizado.

En cuarto lugar, algunas políticas públicas pueden favorecer la creación de departamentos de I+D en las empresas, como por ejemplo el uso de determinados incentivos fiscales para la creación o intensificación de actividades de investigación por las empresas. Los incentivos existentes actualmente son demasiado tímidos para surtir efecto. La ampliación del número de empresas con actividad de I+D tendería a valorizar la innovación del proceso, generalmente incremental, y aumentar la posibilidad de ocurrencia en innovaciones de producto, en la mayoría de los casos relacionados con transformaciones tecnológicas fundamentales.

En quinto lugar, sería interesante estimular la creación de centros de innovación que tratasen de cerrar el "eslabón perdido" entre la actividad científica realizada en las universidades y la aplicación tecnológica que sea posible en las condiciones nacionales. Pero se debe alertar sobre el riesgo que representa la tentación de construir dicho eslabón con el sacrificio de los recursos aplicados a la capacitación científica. Eso sería equivalente a construir un puente que comunica la nada con ningún lugar.

Finalmente, valdría la pena detenerse un poco más en el examen de la composición del empresariado. Si las empresas con estructura suficiente para asumir una función de I+D en un país son estatales o multinacionales, eso debe ser tomado en consideración. De hecho, buena parte de la I+D empresarial realizada en el país es emprendida por las mismas empresas estatales. Estas empresas tienen una lógica diferente a la empresa privada, en la medida en que su móvil no es el lucro inmediato. La identificación de los objetivos de esas empresas con las metas gubernamentales permitió que éstas encarasen proyectos de I+D con plazos más flexibles. Son éstas también las que más han estrechado relaciones con las universidades en el país. En este sentido, las consecuencias del proceso de privatización recientemente iniciado en el Brasil pueden ser funestas para la actividad de I+D. Sería importante que el mantenimiento de la actividad de la investigación de alguna forma condicionase esa transición.

Por otro lado, incluso las multinacionales pueden pasar a realizar parte de su investigación -aunque sea principalmente la I+D adaptativa- en el territorio nacional, en la medida en que sean creados incentivos en ese sentido, o que les sea exigida esa contrapartida para proseguir sus actividades en el país.

Esta enumeración no pretende agotar la lista de dificultades que la actividad de producción de conocimiento -y principalmente de conocimiento útil- crea para los países en desarrollo. En verdad, aquí fueron abordados apenas algunos de los problemas subjetivos.

Se cree que buena parte de los impedimentos que se crean en torno a la capacitación tecnológica de las empresas son cuestiones que dependen de la capacidad del país de desarrollar políticas adecuadas para lidiar con las necesidades de las nuevas tecnologías. Ellas son un dato de la realidad objetiva (como los citados en el ítem 2). Se corresponden con las consecuencias que se pueden derivar, para los países en desarrollo, de los mecanismos responsables por el progreso técnico de los países centrales. Su movimiento es endógenamente alimentado, contrastando con la etapa anterior, que es la gran responsable por el alejamiento de la economía internacional de una parcela creciente de la población mundial.

Así como los instrumentos de la política económica perdieron su eficacia en el proceso de globalización, también es pequeño el margen de maniobra que les queda a los países en desarrollo, después del advenimiento de las nuevas tecnologías, para encausar la política científica y tecnológica en el sentido de crear un círculo virtuoso que impulse la innovación, la capacitación tecnológica y el desarrollo socioeconómico.

Se sabe que

[...] la tasa de progreso técnico depende de la manera como son administrados y organizados los recursos disponibles tanto en la empresa como a nivel nacional. El sistema nacional de innovación puede permitir a un país un progreso muy rápido a través de combinaciones apropiadas entre tecnología importada y adaptación y desarrollo local.¹²

Frente a esa realidad, cabe actuar sobre esa coyuntura internacional desfavorable, tratando de revertirla en favor de esos países, y aprovechar las brechas que se abren para la participación conjunta en desarrollos tecnológicos específicos que permitan crear las condiciones para la implantación de un proyecto nacional de desarrollo.

Esta alternativa exige inicialmente un diagnóstico claro de los problemas y mucha imaginación para proponer soluciones viables. Exige también gobiernos democráticos sinceramente preocupados y con el coraje suficiente para enfrentar los problemas nacionales. El Brasil ha avanzado en ese sentido, pero todavía falta mucha imaginación, coraje y determinación.

6. Precondiciones para la interacción universidad y empresa en la Unicamp

Cuando se creó la Universidad Estatal de Campiñas (Unicamp), se realizó un gran esfuerzo para atraer hacia aquí cerebros privilegiados. Al mismo tiempo se procuró equiparla con lo más avanzado que existía en la época, particularmente en algunas áreas. Uno de los ejemplos es el convenio entre esta Universidad y la TELEBRAS para el proyecto de desarrollo de comunicaciones ópticas.

En el período más reciente nuevos esfuerzos se realizaron con el objetivo de reequipar los laboratorios existentes y armar los que fueran haciéndose necesarios.

A partir de 1985 grandes inversiones fueron realizadas para la compra de equipamientos médico-hospitalarios. Se buscaba equipar principalmente a las unidades relacionadas con las áreas de las ciencias biológicas y de la salud, entre las que se destacan la Facultad de

¹² Véase OCDE (1992), cap. 3.

Ciencias Médicas y el Hospital de Clínicas (HC). Junto al Centro de Atención Integral de la Salud de la Mujer (CAISM) y del Centro de Control del Cáncer Ginecológico y Mamario (CECAM), el HC de la Unicamp constituye un centro de asistencia médica para toda la macro región de Campinas. Este es sin duda el servicio más importante que la Universidad presta a la población.

El proyecto EXIMBANK I, que se extendió entre 1985 y 1989 y que constó de un contrato entre el gobierno del estado de San Pablo y el Eximbank, significó, para la Unicamp, un financiamiento de u\$s 3.017.403 para la adquisición de equipamiento importado. La contrapartida fue de igual valor, ya que el 80% se destinó a la compra de equipos nacionales y el 20% a tasas aduaneras, seguro, infraestructura e instalaciones.

El Protocolo Franco-Brasileño, ejecutado entre 1985 y 1987, constó de un contrato entre el gobierno del estado de San Pablo y la República Francesa, cuyo valor fue de FF\$ 8.600.000 (equivalente a u\$s 1.226.730), también para equipamiento médico-hospitalario. La contrapartida fue de igual valor, en las mismas condiciones del EXIMBANK I.

A partir de 1986 disminuyó el énfasis en el equipamiento hospitalario. Los financiamientos siguientes se dirigieron también a otras áreas de la Universidad. Desde 1986 a 1992 la Unicamp fue beneficiaria de un contrato firmado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología y Desarrollo del estado de San Pablo con Hungría y con la ex República Democrática Alemana, consistente en recursos del orden de u\$s 2.786.602 provenientes de Hungría, más u\$s 6.711.720 de la ex RDA. Se realizó también un convenio entre la ex RDA con el CNPq y la Secretaría de Ciencia y Tecnología y Desarrollo del estado de San Pablo por valor de u\$s 3.873.390. Estos financiamientos estaban dirigidos a la adquisición de equipos y no exigían contrapartida.

El proyecto EXIMBANK II, realizado entre 1989 y 1991, fue el mayor de todos, con un valor de u\$s 24.500.000. Benefició a casi todas las unidades de la Unicamp y fue totalmente utilizado en la compra de equipamiento norteamericano. Incluyó también equipamientos para informática, habiendo sido adquiridas 113 estaciones de trabajo.

Se puede así verificar que se han emprendido esfuerzos continuados en el sentido de reequipar y actualizar los laboratorios, condición imprescindible para la ejecución y el acompañamiento de la investigación de buena calidad a nivel internacional. Es en estos laboratorios, a través de la interacción entre docentes de esta universidad y alumnos de posgrado y de grado, que se preparan y se califican recursos humanos para los demás centros del país. La Unicamp pasa a

tener un papel relevante dentro del sistema de enseñanza superior del Brasil, principalmente con su posgrado.

Como una de las consecuencias de la concentración en las áreas exactas y tecnológicas la Unicamp, desde su origen, establece lazos importantes con el sector productivo. Se puede afirmar que la Universidad ha realizado aportes concretos al desarrollo tecnológico del país. Esa interacción con la empresa se ha dado de distintas maneras, ya sea a través de convenios para proyectos completos de investigación, o a partir de la necesidad de ampliación de la escala de los experimentos, el *scaling up*.

A través de entrevistas realizadas en diversas unidades de áreas tecnológicas, exactas y biológicas, fueron seleccionados algunos proyectos volcados hacia la aplicación tecnológica. Algunos de ellos ya llegaron a un completo desarrollo industrial, otros establecieron una sociedad, otros todavía están en la fase de ampliación de la escala de la interacción universidad-empresa. El objetivo fue apenas ilustrar, con casos en diferentes unidades y en diferentes estadios, el esfuerzo de participación de la Unicamp en el desarrollo tecnológico nacional.

Merecen destacarse las tentativas de la Unicamp por establecer relaciones más intensas con posibles socios industriales. Sin embargo, la Universidad, con sus 25 años, se ve ante la amenaza de ver fracasar en buena medida sus esfuerzos por seducir al empresariado para las actividades de investigación conjunta. ¿Cambiaron los tiempos?

Los tiempos cambiaron y mucho desde que la Unicamp surgió en las vísperas de los "años del milagro", cuando abundaban los recursos para la investigación. Hoy el estado brasileño, principal responsable por la contratación de investigación académica para las empresas estatales, se encuentra famélico, en vísperas de reformas importantes, entre las cuales se encuentra la privatización de varias de esas empresas. La crisis inhibe también posibles iniciativas del sector privado en la renovación del parque productivo y por lo tanto en las erogaciones de I+D.

Dentro de la Unicamp, el reflejo de la crisis se hace sentir por las dificultades en establecer relaciones estables con los socios del sector industrial, que agudizan la disminución de recursos para la investigación, tradicionalmente concedidos por los organismos de financiamiento a la investigación en el país.

Esto no ha impedido, sin embargo, que algunas iniciativas hayan tenido éxito en el sentido de establecer un vínculo productivo para ambas partes. Se puede afirmar, sin duda, que los resultados positivos en

esas circunstancias son más inesperados que los negativos y se deben generalmente a una conjunción de factores favorables que hicieron posible un desenlace feliz. Otra observación importante es que, incluso a nivel internacional, en los países industrializados los casos de éxito son más raros que los de fracasos en la interacción universidad e industria.

7. Los casos en estudio en la Unicamp

En este trabajo fueron estudiadas cinco unidades académicas de la Universidad: el Instituto de Química, la Facultad de Ingeniería Eléctrica, el Instituto de Biología, la Facultad de Ingeniería de Alimentos y el Instituto de Física. Son cinco de las unidades más activas, pero ni siquiera agotan la relación de las unidades de mayor interacción con la industria. Su elección tuvo carácter aleatorio dentro de las posibilidades más positivas -las unidades con mayor índice de vinculación-.

Dentro de ellas fueron seleccionados los casos más interesantes.

- En el Instituto de Química fueron escogidos cinco proyectos:

1. *Proyecto de producción de nuevos tipos de pigmentos blancos.* Este proyecto tiene un profesor titular como responsable e incluye a cuatro alumnos. Está directamente dirigido a la producción de tinta blanca para interiores, con utilización de nuevos tipos de pigmentos blancos.

La tinta blanca es una resina mezclada con pigmentos blancos. Actualmente se usa un pigmento blanco que es el óxido de titanio, pero éste presenta dos problemas: su costo, que es alto, y el hecho de que su proceso de fabricación genera problemas ambientales. El producto obtenido a través del Proyecto es un sustituto para el óxido de titanio, constituido por nuevos pigmentos de fosfato de aluminio y de calcio.

En escala piloto el producto y su tecnología ya están dominados y en la Unicamp ya se produce en escala de kilogramo. Falta definir los intereses para las pruebas en mayor escala.

Este proyecto ya recibió los siguientes premios: dos premios de la ABRAFAT (Asociación Brasileña de Fabricantes de Tinta) -concursos de 1991 y 1994-, el premio ABRAFAT de ciencia de tintas y el "2° premio en el Simposio de Partículas y Dispersiones" en el Congreso Internacional de Coloides y Superficies, realizado en Francia en 1991.

2. *Sustituto del freón en la aplicación de teflón.* Este proyecto es dirigido por el mismo profesor que el anterior. Surge de la necesidad

de sustituir el freón, usado como dispersante en la producción de teflón. El teflón es depositado en superficies de metal. En 1983 el coordinador del proyecto publicó un artículo con un colega en el cual revelaron un nuevo procedimiento para la aplicación del teflón, consistente en usar una solución de agua con detergente.¹³ Entre sus ventajas se encontraron la reducción del daño ambiental y el hecho de ser más económico.

En 1990, la filial de una empresa extranjera quería informaciones sobre el artículo, pero ese contacto fue interrumpido posteriormente por dicha empresa. Los investigadores no saben si ese procedimiento, que es muy utilizado en hojas de afeitar, fue absorbido o no por la industria.

3. *Proyecto de obtención de filtro para material biológico.* Se trata de un proyecto en el área de polímeros a cargo de un profesor titular y dos alumnas de posgrado.

Hasta 1992 existía un tipo de filtro centrífugo que era usado para la concentración de material biológico en laboratorios clínicos y de biotecnología. Era de plástico y funcionaba mal. Esos filtros eran los que surgieron a partir de la década del cincuenta y debían ser manipulados uno por uno.

En 1983 una alumna de posgrado se dedicó a estudiar procesos de separación por membrana. Sus experimentos demostraron que era posible hacer filtrado centrífugo de partículas muy pequeñas, como por ejemplo proteínas de plasma, lo que era considerado imposible en el *Handbook of Chemical Engineering*, de Perry, a comienzos de la década del setenta. Según él, había un límite de tamaño de partículas debajo del cual esto no ocurría.

En 1986 se publicó un artículo donde se demostraba este principio.¹⁴ Antes de la publicación el producto fue patentado. Pero como no se consiguieron empresas interesadas y el pago de la patente pasó a ser muy caro, a partir de 1987-1988 se renunció a los derechos. Hubo una tentativa junto a "INCIBRAS", fabricante de centrifugadoras. El

¹³ Galembeck, F. y Teschke, O., "Morphology of PTFE coatings obtained by dispersión Spraying", en *Polymer Process Engineerig*, 1 (3), 319-328 (1983).

¹⁴ Nunes, S.P., Winkler Hechenleiter, A. A. y Galembeck, F., "A New Centrifugal Ultrafiltration Device", en *Separation Science and Technology* 21, 823 (1986).

modelo que fue producido en la Unicamp permitía usarlas como ultra-filtro. Faltó apenas el trabajo de ingeniería del producto.

En 1992 la alumna que hizo el tubo encontró el producto en el mercado americano: el "filtran" producido por la Macrosep. Los investigadores opinan que el artículo publicado debe haber sido el origen de la patente americana. Se modificó un poco el diseño, se produjo un trabajo de ingeniería del producto, pero el principio utilizado fue demostrado por el artículo de la Unicamp.

4. *Proyecto de antioxidante para ruedas de camión.* Este proyecto pertenece también al área de polímeros e incluye a un profesor titular y una alumna de doctorado. La investigación trató de encontrar oxidantes más resistentes a variaciones climáticas y de temperatura.

Toda rueda de camión tiene, por lo menos, cuatro compuestos diferentes de caucho. En cada uno existen aproximadamente diez productos diferentes. La combinación de los productos resulta en las diferentes composiciones de goma (natural o sintética).

De esos componentes dos son antioxidantes. Ellos son adicionados a la goma para que ésta no se endurezca y se quiebre, o sea, retarda su proceso de envejecimiento. Una rueda de camión, en condiciones ambientales normales, enfrenta variaciones de temperatura de -5°C hasta 40°C , con 100% de humedad, en temperatura ambiente. Estos antioxidantes, para tener una acción efectiva, no pueden evaporarse o disolverse en agua, cuando llueve, por ejemplo.

El trabajo consistió en determinar qué tipo de oxidante resistiría mejor al proceso de pérdida, sea por evaporación o lixiviación. El producto ya fue obtenido y está hace más de cuatro años en el mercado. El nombre del producto y de la empresa no pueden ser revelados pues forman parte del acuerdo de silencio que establece el convenio firmado entre la Unicamp y la empresa.

La alumna que hacía el doctorado en la Universidad y que participó de este proyecto está por defender su tesis, cuyo título es: "El efecto de la difusión de antioxidantes en su desempeño en goma vulcanizada".

5. *Obtención de blendas de polímeros de PVC con polipirrol.* El producto obtenido es producido por la industria química. Se destina a la protección contra la interferencia electromagnética. Es utilizado como revestimiento de los aparatos electro/electrónicos, como televisores y otros. Las carcazas y otras piezas de estos aparatos reciben este tipo de revestimiento.

Este trabajo fue desarrollado en el laboratorio de investigación de IBM, localizado en los Estados Unidos, California. En esa época IBM no se interesó en patentar el producto.

El trabajo fue publicado en 1985.¹⁵

Desde 1993-1994 el producto pasó a ser vendido en Europa y en los Estados Unidos.

- En el Instituto de Biología fue seleccionado un proyecto que pertenece también al Centro de Biología Molecular y al laboratorio de Ingeniería Genética.

1. El *proyecto de producción de Goma Xantana*, utilizada en la industria alimenticia.

La *Xanthomonas campestris* es una bacteria fitopatogénica que causa dolencias en diversas especies de plantas. También produce un exopolisacarídeo de gran interés comercial, conocido como goma xantana.

Esa goma presenta propiedades viscosificantes y alta resistencia a la presión, pH y temperatura. Es la única goma de origen microbiano aprobada para consumo humano; es utilizada en la preparación de salsas, helados, dulces, etc. En la industria, su utilización abarca el área de tintas, cerámicas y cosméticos. Mientras tanto, su uso en mayor escala se daría en la recuperación mejorada de petróleo.

Teniendo en cuenta esa recuperación mejorada, la PETROBRAS buscó un grupo de investigadores del Departamento de Ciencia de Alimentos de la Facultad de Ingeniería de Alimentos de la Unicamp para establecer un convenio que tenía en vista una caracterización preliminar de linajes nativos de *X. campestris* para la producción de goma. El proceso de fermentación para la producción de goma presentaba, mientras tanto, inestabilidad. Las causas de esa inestabilidad eran desconocidas y para analizar ese aspecto se realizó una integración con un laboratorio de Genética de Microorganismos del Instituto de Biología, a fines de 1985. Gradualmente hubo una ampliación de las líneas de investigación dirigidas con *Xanthomonas* en el laboratorio de Genética. Las investigadoras que desarrollaron el proyecto de produc-

¹⁵ Paoli, M. A., De Waltman, R. J., Diaz, A. F. y Bargon, J., "An Electrically Conductive Plastic Composite Derived from Polypyrrole and Poly (vinyl chloride)", en *Journal of Polymer Science-Polymer Chemistry Edition*, vol. 23, No. 6, junio de 1985, pp. 1687-1698.

ción de goma Xantana tienen un privilegio de patente. Resta apenas una ampliación de la escala, que sólo es posible con la asociación de una empresa industrial.

- En la Facultad de Ingeniería de Alimentos fue seleccionado apenas un proyecto, a pesar de que esa Facultad registra un gran volumen de patentes y muchas de ellas ya aplicadas.

1. El *proyecto de producción de frutoóligo sacarídeo a partir de sacarosa por microorganismos*. Este proyecto incluye dos profesores y un alumno de grado con beca de iniciación científica. El objetivo del proyecto era transformar la sacarosa obtenida de la caña de azúcar en otro tipo de azúcar, dulce como la sacarosa, pero que no fuese metabolizada. O sea, que no generase calorías, pero que continuase siendo azúcar.

En verdad era un proyecto para producir azúcar no convencional. Estaba dirigido a las personas que tienen problemas de obesidad y a los diabéticos. La gran ventaja de este azúcar consiste en que es un componente familiar al organismo. Teóricamente no presenta inconvenientes para la salud.

La tecnología ya fue transferida a la Usina da Barra, que es la mayor productora de sacarosa del mundo. La Usina, asociada con los investigadores de la Unicamp, va a realizar una ampliación de la escala para, en seguida, lanzar el producto al mercado.

El contrato entre la Usina y la Unicamp fue hecho a través de la Oficina de Tecnología. La idea es vender la tecnología del proceso a la Usina, que pretende producir para el mercado interno y también para el externo.

Existen mercados fuera del Brasil, de los que el asiático es el más importante, ya que el uso del azúcar y la preferencia por productos fermentados son parte de la cultura japonesa. Probablemente el producto será vendido en la forma de jarabe y podrá ser utilizado en la industria de gaseosas, de alimentos dulces, etcétera.

- En la Facultad de Ingeniería Eléctrica fueron seleccionados cuatro proyectos.

1. *Proyecto de un Sistema Inteligente de Control de Tráfico Urbano*. La idea del proyecto es el control del tráfico urbano con la utilización de equipamientos electrónicos. Este proyecto ocupó a dos docentes y a cuatro alumnos de posgrado y hoy su continuidad se hace efectiva a través de dos alumnos.

A través de un convenio con la Municipalidad de Sao Bernardo do Campo (estado de San Pablo) se elaboró una propuesta para esta ciudad. Hoy ya se implementó una primera fase y se espera abarcar a toda la ciudad con el sistema.

El objetivo era desarrollar una red de controladores semafóricos compuesta por 120 controles, más dos centrales de control con líneas de comunicación de datos, detectores de vehículos y el *software* de operación para hacer funcionar a todo el sistema.

El objetivo final era abarcar toda la ciudad. El sector elegido fue Rudge Ramos. La línea piloto fue instalada en la avenida Caminho do mar, en Rudge Ramos, porque allí queda el Departamento de Ingeniería de Tráfico de la Municipalidad, lo que redundó en mayores facilidades.

El sistema comenzó a operar a fines de 1992, cuando fueron instalados los primeros prototipos de controladores. La instalación efectiva se inició en 1993 y al año siguiente estaba operando en forma plena. Quedó bien caracterizada la viabilidad de este tipo de equipo. A fines de 1994 fueron incorporadas técnicas de control avanzado. Hay un esquema de malla cerrada donde los controladores hacen el conteo del número de vehículos. Ese conteo es transmitido a la central. Allí la computadora toma esos datos y a través de un programa de optimización genera planos semafóricos óptimos que son retransmitidos a los controladores. Ellos se reajustan al flujo.

Este sistema es inédito en el Brasil. El costo estimado era de u\$ 500.000 para 120 controladores que operan en 120 cruces. Esto significa poco más de u\$ 4.000 por controlador. La línea piloto tiene 10 controladores y alcanza estimativamente 3 km de extensión con 8 cruces.

El sistema permite una reducción de más o menos 15% durante el tiempo total del trayecto. Disminuye el nivel de contaminación, de desgaste del vehículo y de consumo de combustible. Durante 1995 se pretende alcanzar aproximadamente 50 cruces. En la línea piloto pasan 70 millones de vehículos/año, de los cuales 20 mil pasan por esta avenida de doble mano, a razón de 2 mil autos por hora por cada mano en el momento de mayor congestión vehicular.

2. *Proyecto del MCP-30*, un multiplexador, basado en la Técnica PCM (modulación por codificación de pulsos) que permite la conversión de señales telefónicas analógicas en señales digitales, a una tasa de 2 Mbit/s, transportando hasta 30 canales de voz por un mismo par de cables.

Este equipo puede ser utilizado de manera integrada con diferentes medios de transmisión, cables de pares de cobre convencionales,

directamente o a través de cadena de multiplexadores digitales de alta jerarquía, vía enlaces de comunicación óptica o radio digital.

Presenta diversas ventajas tecnológicas: 1. alta calidad de transmisión; 2. bajo costo operacional; 3. transmisión de largo alcance, y 4. flexibilidad de interligación con otros equipamientos del sistema.

El MCP-30 comenzó a ser comercializado en 1981. Este equipo fue parte de las grandes transformaciones por las que pasó el sistema de telecomunicaciones del Brasil a partir de la creación de TELEBRAS, en diciembre de 1972. La empresa estatal de telecomunicaciones contaba con un proyecto de autonomía tecnológica para el sector que incluía la producción de equipos por la industria brasileña.

Mediante un convenio, firmado en junio de 1973 entre la Unicamp y TELEBRAS, el equipo se propuso dominar la tecnología de MCP-30. Este proyecto significaba, entre otras cosas, pasar del sistema analógico al digital y fue uno de los elementos importantes que posibilitaron un gran avance del sistema de telecomunicaciones en el Brasil. Cuando el MCP-30 fue transferido al cpqD, para las adaptaciones necesarias antes del pase al sector industrial, su estadio final estaba bastante avanzado.

Luego de esta etapa, otros convenios fueron firmados para la producción del MCP-120 y del MCP-480. Estos son también multiplexadores de mayor capacidad, necesarios para integrar al sistema de telecomunicaciones. Logrado el dominio tecnológico se efectuó el pase a TELEBRAS. Este proyecto llegó hasta la etapa industrial, siendo ELETROBRAS la empresa que, a partir de 1981, comenzó a producir para el mercado nacional.

El desarrollo de los MCP significó gran ahorro de recursos para el sistema TELEBRAS. Además, incorporó características de concepción físico-funcional volcadas a la atención de las especificaciones de objetivos y requisitos funcionales y de operación/manutención discutidos con el sistema TELEBRAS.

La implantación de los MCP significa también ampliación de canales con reducción de costos. Para los usuarios del sistema telefónico, la principal ventaja es la disponibilidad de un mayor número de líneas de comunicación de más alta calidad.

Este proyecto significó la capacitación de recursos humanos, tanto para la Universidad como para otros sectores, como la misma TELEBRAS y la industria nacional de la rama.

3. *Proyecto de centro informatizado de control eléctrico.* En la Facultad de Ingeniería Eléctrica se viene desarrollando desde hace va-

rios años una línea de investigación para centros de control. Los centros de control están localizados en las usinas hidroeléctricas, que producen energía eléctrica, y en las estaciones transmisoras de esa energía. El coordinador de ese proyecto se ha dedicado más a los centros de control de las estaciones distribuidoras.

En San Pablo existió, desde 1976, una interacción entre la Universidad y la Compañía Paulista de Luz y Fuerza (CPFL), el órgano responsable de la distribución de energía eléctrica hacia el interior del estado. De los contratos firmados con la CPFL, el más importante fue el de 1988. Más recientemente fue firmado otro con la CEMIG (Centrales Eléctricas de Minas Gerais).

Los objetivos principales de estos centros de control son operar el sistema con bajo costo y mantener baja la probabilidad de *black out*.

Estos centros están informatizados y mantienen un control permanente sobre toda la distribución eléctrica. Usan tecnología de avanzada, para la cual la Unicamp contribuye de manera directa. En la actualidad el equipo de esta línea de investigación cuenta con 6 docentes y 20 alumnos de posgrado.

En los últimos 18 años estas actividades tuvieron el siguiente resultado: 25 tesis, 10 de Doctorado y 15 de Maestría; aproximadamente 100 publicaciones en anales de congresos y en revistas, 40 de las cuales lo fueron en periódicos internacionales de primera línea.

Líneas de Investigación para la Planificación de Operación de Sistemas de Energía Eléctrica con predominio de generación hidroeléctrica, apoyado por la FAPESP.

La línea de investigación consiste en el desarrollo de *software* para planificación de sistemas de energía eléctrica. Se tiene en cuenta la optimización en la operación de las usinas hidroeléctricas, o sea, ahorrar el combustible termoeléctrico (el agua). Esta línea de investigación se inició en 1978.

En términos de producto tecnológico, en julio el equipo estará finalizando un estudio temático y ya se tiene un estudio precomercial. Es un sistema informático que brinda apoyo a los planificadores de las usinas hidroeléctricas.

Además del coordinador, abarca a dos docentes doctores de la FEE, un profesor de la Facultad de Ingeniería Civil, dos doctores del Centro Tecnológico de Informática (CTI) del Ministerio de Ciencia y Tecnología, localizado en las proximidades de la Unicamp, y tres docentes de la USP de Sao Carlos.

El resultado de este proyecto esta siendo evaluado y probado por la ELETROBRAS.

- Finalmente, del Instituto de Física fueron seleccionados dos proyectos:

1. *Proyecto de producción de fibra óptica para telecomunicaciones ópticas.* El primer desarrollo de fibra óptica ocurrió en 1971, en los laboratorios de la Corning, en los Estados Unidos. En 1975 su tecnología aún no estaba totalmente dominada y recién en 1978 la Corning y la ATT realizaron el primer test.

En 1975 fue iniciado, en convenio con la TELEBRAS, el proyecto para producción de fibra óptica para comunicaciones ópticas en el Brasil, en la Unicamp. Fue creado un equipo que se abocó a la resolución del desafío. En 1978 se consiguió la tecnología de producción de fibra óptica en la Universidad, a nivel de planta piloto. En seguida la tecnología fue transferida para el CPqD de la Teleras, para los perfeccionamientos necesarios. En 1981 la tecnología de la fibra fue transferida a la empresa ABC-x-Tal, que, en 1984, comenzó a producir fibras ópticas para el mercado nacional.

Este proyecto incluyó a varios docentes y capacitó recursos humanos, tanto para la propia Universidad como para la TELEBRAS y el sector empresarial. Permitió también la modernización en las telecomunicaciones del país, que pasó a utilizar la fibra óptica sustituyendo los cables de cobre, lo que reportó innumerables ventajas. Además, el proyecto de fibra óptica se desarrolló simultáneamente al de la producción de láser de semiconductores; juntos, ellos representaron un gran salto tecnológico para las comunicaciones del Brasil.

2. *Proyecto de producción de láser de semiconductores.* Este proyecto se inició en 1973 y se desarrolló a través de un convenio con la TELEBRAS.

En 1979 se llegó en la Unicamp al primer prototipo de láser de arseneto de galio que funcionaba a temperatura ambiente. En 1981 se obtuvo el láser de fosfato de indio. Como ya se había logrado también producir la fibra óptica en ese mismo año, fue posible un experimento piloto exitoso entre dos ciudades del estado de Río de Janeiro. Se estaba usando lo que había de más avanzado en comunicaciones ópticas en el mundo del sector de comunicación del país.

La investigación continuó y la tecnología de la fabricación del láser y de los demás componentes optoelectrónicos fue dominada en la Unicamp. Se produjo la transferencia para el centro de investigaciones y desarrollo (CPqD) de TELEBRAS para el desarrollo de prototipos. El pase a la industria no tiene hasta hoy el éxito que se esperaba y lo que se hace es importar el láser y encapsularlo en la Asga, empresa que

recibió la tecnología vía Teleras. Mientras tanto, este proyecto logró su objetivo de dominio de la tecnología de la fabricación del láser de semiconductores. Incluyó a varios docentes y capacitó recursos humanos tanto para la Universidad como para la TELEBRAS y la industria.

8. Conclusiones

Los casos expuestos son apenas algunos ejemplos de la investigación con perspectiva tecnológica realizada en la UNICAMP. La muestra incluye trece proyectos, cinco de los cuales pertenecen al Instituto de Química (IQ), cuatro a la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FEE), dos al Instituto de Física (IF), uno al Instituto de Biología (IB) y uno a la Facultad de Ingeniería de Alimentos (FEA).

De los trece proyectos, seleccionados de forma aleatoria entre aquéllos destinados a la aplicación industrial, seis ya están transferidos para empresas: el proyecto de antioxidantes para gomas de camión, del IQ; el sistema inteligente de control de tráfico urbano, de la FEE; el MCP-30, multiplexador para conversión de señales analógicas a digitales, de la FEE; la fibra óptica, del IF; la tecnología utilizada en el centro informatizado de control eléctrico, de la FEE; y el proyecto de láser de semiconductor para aplicación en telecomunicaciones ópticas. Este último no tuvo hasta hoy el éxito esperado en términos tecnológicos, pues a pesar de haberse dominado la tecnología de fabricación del láser en laboratorio éste es aún importado y apenas encapsulado por la industria nacional. Además de éstos, la tecnología de producción de sacarídeos a partir de sacarosa por microorganismos ya fue transferida para la Usina da Barra, que está por ampliar la escala de producción juntamente con los investigadores de la Unicamp para lanzar el producto al mercado. De los seis productos restantes cuatro están a la espera de un socio o en fase final de desarrollo. Es el caso del sistema informatizado que brinda apoyo a los planificadores de las usinas hidroeléctricas, producto precomercial, en la FEE. Aparentemente, se encuentra más próximo de la posibilidad de ser transferido a la industria el proyecto de producción de pigmentos blancos del IQ. Un poco más lejos, por problemas de costos en la producción, está la goma Xantana desarrollada en el IB.

En algunos casos el objetivo mayor fue alcanzado con la publicación del trabajo, y en otros se constata un aprovechamiento de esos desarrollos por empresas localizadas en el exterior, en mejores condiciones de absorber las nuevas ideas.

Los resultados desde el punto de vista académico son considerados como sumamente relevantes en por lo menos seis de los proyectos. El proyecto relativo a pigmentos blancos recibió varios premios de la Asociación Brasileña de Fabricantes de tinta, del IQ, que también debe ser destacado. La participación de un equipo de investigación de la Unicamp con seis docentes y veinte alumnos de posgrado hizo que el centro informatizado de control eléctrico nuclease actividades académicas que resultaron en 25 tesis, siendo diez de doctorado, cerca de 100 publicaciones en anales de congresos y revistas, cuarenta de ellas en destacados periódicos internacionales.

Así, podemos afirmar que los resultados obtenidos no se deben medir apenas en productos tecnológicos efectivamente transferidos hacia la actividad industrial. En muchos casos la producción estrictamente académica se ve reforzada por el emprendimiento conjunto de proyectos con perspectiva tecnológica por equipos de docentes y alumnos principalmente de posgrado.

De modo general, lo que se constata es que la investigación universitaria no deriva necesariamente y/o no necesitaría derivar en un producto terminado. La investigación académica tiene sus límites y, en muchos casos, precisaría continuar fuera de la Universidad, particularmente en los casos de ampliación de escala, donde generalmente aparecen nuevos desafíos. Pasar de la producción en laboratorio, o de un prototipo, a la producción industrial no se resuelve a través de la ampliación del volumen de los ingredientes de la experiencia. Toda una serie de imponderables surgen en el proceso de *scaling up*, para cuya superación el conocimiento codificado muchas veces no es una respuesta.

A partir de los casos estudiados podemos concluir que el escenario relativo a la investigación académica puede ser la antesala de los esfuerzos de I+D de las empresas, pero difícilmente lo sustituirá. Así, escapa a la Universidad parte relevante del proceso de innovación, que depende de la iniciativa empresarial y del apoyo gubernamental en la creación de mecanismos de incentivo a la inversión en investigación de las empresas y en emprendimientos conjuntos con universidades e institutos de investigación.

Por otro lado, la investigación científica puede ser revigorizada y reorientada por políticas públicas de incentivo que retomen los niveles ya alcanzados en el pasado de financiación a la investigación por los organismos, corrigiendo algunas distorsiones verificadas en las políticas practicadas por ellas, en el sentido de aumentar su eficiencia y de recibir ayuda para reducir los errores en la selección de los proyectos.

Por último, si el objetivo es instrumentalizar el sistema público de investigación, universidades e institutos federales y estatales, para dinamizar el sistema nacional de innovación, cabe implementar acciones ya emprendidas en varios países industrializados, de manera que el estado cubra las necesidades de inversión de alto riesgo en las fases de la investigación conocida en la literatura como "el eslabón perdido", correspondiente a aquella etapa en que la universidad no tiene interés ni capacidad para emprender y cuyo riesgo las empresas industriales no se atreven a enfrentar aún.

Así, las transformaciones por las que tendrán que pasar las universidades públicas y privadas en el escenario nacional serán profundas, con cambios intensos del comportamiento y de la cultura académica, como respuesta a la modificación introducida en la estructuración de las relaciones sociales provocadas por el nuevo paradigma técnico-económico. Esto no significa, sin embargo, un cambio tan radical que haga desaparecer las características básicas de la institución académica, pues sus funciones clásicas deben ser preservadas, so pena de sacrificar el conjunto del proyecto en la tentativa de extraer de ella lo que no puede dar. •

Bibliografía

- Abernathy, W. J. y Utterback, J., "A dynamic model of process and product innovations by firms", Center of Policy Alternatives, MIT, mayo de 1975.
- Center of Research Policy, University of Wollongong y Sultech, Crossing Innovation Boundaries, "The formation and maintenance of research links between industry and universities in Australia", National Board of Employment, Education and Training, Canberra, Australia, noviembre de 1993.
- Dosi, G., Pavit, K. y Soete L, *The Economics of Technical Change and International Trade*, Harvester Wheatsheaf, Hertfordshire, Inglaterra.
- Etzkovitz, H. y Leydesdorff, L, "The Triple Helix: University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development", Theme Paper del Workshop que será realizado del 4 al 6 de enero de 1996 en Amsterdam, Holanda, enero de 1995.
- Etzkovitz, H. y Webster, A., "Science as Intellectual Property", cap. 21 de *Science, Technology and Controversy*, 1994, pp. 480-505.
- Hill, S. y Turpin, T., "Cultures in Colusión: the Changing Face of Academic Research Culture", paper presentado en la 4S/EASST-Joint Conference on Science, Technology and Development en Gothenburg, Suecia, entre el 12 y el 15 de agosto de 1992.
- Martins, G. M. y Queiroz, R., "O perfil do Pesquisador Brasileiro", en *Revista Brasileira de Tecnologia*, vol. 18 (6), septiembre de 1987.

- MIT, "Technological changes in Sao Paulo industry and their policy implications", Center for Policy Alternatives, Massachusetts Institute of Technology, MIT, mayo de 1976.
- Morel, R. L. de Moraes, "Ciencia e Estado-A Política Científica no Brasil", en T. A. Queiroz Editor Ltda., San Pablo, 1979.
- Nelson, R. R., "A retrospective", en Nelson, R. R. (comp.), *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*, Oxford University Press, 1993.
- NSB, National Science Board, *Science and Engineering Indicators*, National Science Foundation, 1993, pp. 120-122.
- OCDE, *Technology and the Economy. The Key Relationships*, París, OCDE, 1992, cap. 11: "Technology and Competitiveness", cap. 12: "New Technology, Latecomer Industrialisation and Development", pp. 237-256 y 257-311, y cap. 3: "Innovation. Related Networks and Technology Policymaking".
- OCDE, *Industrie et Université. Nouvelles formes de coopération et de communication*, Organisation de Coopération et de Développement Economiques, París, 1984.
- Petitjean, P, "Autour de la Mission Francaise pour la Création de l'Université de Sao Paulo (1934)", en Petitjean, P. *et al.* (comp.), *Sciences and Empires*, Kluwer Academic Publishers, Holanda, 1992, pp. 339-362.
- Pirela, A., Rengifo, R. y Arvanitis, R., "Vinculaciones Universidad-Empresa en Venezuela: Fábula de amores platónicos y cicerones", en *Acta Científica Venezolana*, 42, 1991, pp. 239-246.
- Sagasti, F., *Science and Technology for Development. SPTI module 1: a review of schools of thought on science, technology development, and technical change*, IDRC, Ottawa, Ontario, Canadá, 1980, p. 56.
- Schott, T., *Performance, Specialization and International Integration of Science in Brazil: Changes and Comparisons with Other Latin America and Israel*, Departamento de Sociología, University of Pittsburgh, 1993, p. 152.
- Sutz, J., *Universidad y sectores productivos*, Buenos Aires, Centro Editor de América Latina, 1984.
- Sutz, J., "Las relaciones entre la Universidad y los sectores productivos: Experiencias, dificultades y desafíos. Apuntes de un taller", Taller sobre las relaciones Universidad-Sector Productivo, Universidad de la República, *Cuadernos de Uruguay 2000*, No. 3, Montevideo, Uruguay, Ediciones Trilce, 1993.
- Turpin, T, Sullivan, N. y Deville, A., The Center for Research Policy, University of Wollongong, y Sultech, "Crossing Innovation Boundaries: The formation and maintenance of research links between industry and university in Australia", National Board of Employment, Education and Training, Commissioned Report, No. 26, Commonwealth Government Printer, Canberra, Australia, noviembre de 1993.
- Webster, A. y Etzkovitz, H., "Academic-Industry Relations: The Second Academic Revolution", Science Policy Support Group, Londres, Inglaterra, 1991.