

II. EDUCACIÓN Y DESARROLLO

La investigación tecnológica básica: ¿ciencia pública o ciencia privada? *

RIGAS ARVANITIS** Y GABRIELA DUTRÉNIT***

Resumen: El artículo presenta una experiencia de relación entre una empresa privada y varios centros de investigación públicos en México. Se trata de un caso de investigación tecnológica básica, aquella que puede apropiarse una empresa pero que incluye investigación bastante complicada sobre los materiales mismos. A raíz de este ejemplo se propone estudiar de manera diferente a las relaciones universidad-empresa. Argumentamos que la clásica distinción entre conocimiento público y privado es de poca utilidad para entender cómo se generan y se difunden conocimientos que implican actividades científicas de punta, altamente intensivas en conocimiento teóricos pero a la vez muy aplicados. La ciencia pública es en realidad una comunidad científica activa y sobre todo estructurada. Además, se debe tomar en cuenta el aprendizaje tecnológico de las empresas y, en proyectos de esta naturaleza que acercan el mundo académico y el empresarial, el aprendizaje común de todos los actores involucrados.

Abstract: The paper presents an experience of research collaboration between a mexican firm and various public research centers in Mexico. It is a case of basic technological research, that is, research on technologies which can be appropriated by a firm but need quite sophisticated research on the materials that are involved. With this example we propose to renew the study of research-firms relations. We will show that the classic distinction between public and private knowledge is of little use in order to understand how a knowledge that needs frontier research and that is both empirical and practical in nature is generated and diffused. Public science is synonymous of an active and structured scientific community. Additionally we insist on taking into account both the technological learning of the firm and the simultaneous learning of all the actors involved in the relation.

ES COMÚN HOY EN DÍA DECLARAR que la ciencia se ha convertido en una actividad provechosa y que la creciente comercialización la ha convertido en una actividad "privada". Esto tendría consecuencias graves en cuanto a su orientación y su contenido. Para unos se trata de una verdadera "perversión", una "prostitución" de la actividad noble que es la actividad científica. Otros, al contrario pretenden que es una bendición, porque de esta forma, la ciencia participa más en el desarrollo nacional a través de su acercamiento con empresas productoras.

* Ponencia presentada en el XX Congreso Latinoamericano de Sociología, Alas, México, D.F., 1995. El trabajo de campo reportado en esta ponencia dio lugar a un informe redactado por los principales participantes de la maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico de la UAM, unidad Xochimilco. Una versión abreviada de dicho informe está publicada en la revista *Comercio Exterior* (Dutrénit *et al.*, 1996). Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a todos los investigadores del Centro de Investigación y Desarrollo de GIRSA, y en particular a María Amelia Cruz, Leonardo Ríos y Sergio del Valle, así como a todos los investigadores participantes en el Macroproyecto que nos han entregado generosamente su tiempo y su paciencia.

** Dirigir correspondencia a UAM-X, Orstom-México, Cicerón 609, Col. Los Morales, C.P. 11530, D.F., E-mail: rigas@internet.com-mx.7235467.

*** Dirigir correspondencia a UAM-X, Calz. del Hueso núm. 1100, Col. Villa Quietud, C.P. 04960, E-mail: dutrenit@sussex.ac.uk.

Ambas posiciones tienen elementos de verdad. Es obvio que la elección de las temáticas de la investigación son diferentes cuando su actividad misma está sometida a los intereses industriales. Pero, por otra parte, la industria y los problemas que tienen que enfrentar los productores pueden ofrecer un campo fértil de desarrollos, imposibles de revelar si no se da un previo acercamiento entre las empresas y los centros de investigación.¹ Sin embargo, ambas posiciones son extremas, ya que omiten un aspecto importante en esta discusión: la posibilidad que tienen las empresas para absorber la investigación. Como lo vamos a señalar a continuación, éste es un punto de suma importancia para la teoría social y la política diseñada para el desarrollo tecnológico.

Examinamos en el próximo apartado los problemas tanto teóricos como de política que plantea el nuevo escenario de la relación entre las universidades y el sector productivo, y después presentaremos el caso específico de un programa de investigaciones en el cual participaron varias instituciones académicas y que fue coordinado por la empresa GIRSA (Grupo Industrial Resistol). En las conclusiones expondremos las consecuencias políticas que se desprenden de este caso y de su posible generalización a la comunidad científica de los países en vía de desarrollo.

CIENCIA PÚBLICA Y CAPACIDAD DE APRENDIZAJE

Consideremos primero lo que los economistas llaman un bien público, como se supone que se caracteriza a la ciencia. Como muy recientemente lo ha demostrado Michel Callon (1994), y muy al contrario de la opinión más común, la ciencia, aunque fuera resultado de las investigaciones realizadas en un centro de investigación público, *no es un bien público*, tal como lo define la teoría económica. Un bien público tiene tres características esenciales: es “no apropiable” (es decir que es de uso libre para todos los que lo necesitan), es “no rival” (el uso de un consumidor no desgasta el bien para el otro), y es “perdurable”. Sin entrar en la larga demostración de Callon, podemos recordar con él que toda la sociología de la ciencia reciente demostró que ésta no tiene absolutamente ningún valor fuera de ciertas condiciones particulares que se deben construir para que los resultados científicos sí lo tengan.² No se trata tanto de la validez *per se* de los resultados como de la validez del uso de los resultados de la actividad científica. En efecto, para que se puedan utilizar los resultados hay que realizar ciertas inversiones, de equipos y de personal, y usar los argumentos científicos —es decir el resultado de la investigación— dentro de

¹ Incluso existen ciencias, como lo es la química, que históricamente se desarrollaron en gran parte en la propia industria (Haber, 1971; Walsh, 1984; Aftalion, 1989).

² Callon propone llamar a este argumento, “tesis de la inutilidad intrínseca de los argumentos”, o “tesis de Collins” ya que Harry Collins fue el primero en mostrar la relación estrecha que tienen los argumentos con el contexto en el cual nacen. Para nuestros propósitos, pensamos que no es necesario ir hasta el meollo.

ciertos contextos. Por esta razón, la actividad de investigación es difícilmente apropiable —contrariamente a lo que sería un bien público—, y menos aún utilizable, en ausencia de estas inversiones.³

Por otra parte, una de las principales dificultades para explicar las relaciones entre la investigación y las empresas radica en la falsa idea de que la investigación produce resultados que se pueden usar, al igual que se consume un bien intermedio en un proceso productivo (Arvanitis, 1996). De ahí la idea errónea que fundamenta el modelo lineal de la innovación, según la cual primero viene la investigación, seguida por la aplicación y el desarrollo. Por mucho tiempo se pensó en este encadenamiento de la ciencia y la tecnología como una *carrera de relevos*, cuando en realidad se trata de una *carrera en equipo*. Con base en múltiples ejemplos se puede mostrar que el modelo lineal no permite explicar la paradoja que se encuentra en casi todos los laboratorios universitarios que realizan investigación aplicada: la presencia de innovaciones, muchas veces esenciales, pero sin agentes innovadores para instrumentarlas en los procesos productivos (Arvanitis, 1993).⁴

Para salir del callejón sin salida que tanto la filosofía tradicional de la ciencia como el modelo lineal nos traen, vale la pena pensar en la investigación científica como una actividad que *no produce ningún bien pero que propone maneras de enfocar y resolver problemas* que no están a nuestro alcance si no se sigue cierto tipo de procedimiento y no se usa cierto tipo de material experimental. Los resultados de la actividad científica no son un bien, son un proceso, y por lo tanto solos son inútiles. De este modo se resuelve el espejismo de la ciencia como bien público, útil para todos, disponible casi sin costo, permanentemente a la vista. Cada proyecto particular de actividad científica es muy localizado, en pocas palabras, entendible para quienes la ejercen y quienes de hecho intervienen en su formulación y resolución. Transformar la ciencia en un “bien público” es una labor extremadamente costosa en inversiones, apoyadas por el Estado y los mecenas para crear escuelas, universidades, laboratorios, libros, etc. Todas estas actividades intentan integrar los resultados de la actividad científica en elementos materiales transmisibles y asimilables por los usuarios, sean ellos los propios científicos, las empresas, los alumnos u otros. Para las empresas medianas y pequeñas, que tienen poca capacidad de investigación propia, esto significa que les es muy difícil obtener beneficios de la investigación, sea ésta privada o pública.

Este último punto es muy importante y ha sido objeto de una demostración en cuanto a las empresas del ramo de la industria química en Venezuela (Pirela, Arvanitis, Rengifo y Mercado, 1992). En efecto, logramos demostrar que las empresas que más

³ Gran parte de ellas son inversiones en infraestructura. Por ejemplo, como lo mencionan las Soete y Arundel (1993) en su estudio de las políticas de innovación en Europa, las inversiones y medidas a favor del desarrollo de las telecomunicaciones y del transporte son de máxima importancia para el desarrollo de la tecnología. Véase Corona, Hernández y Dutrénit, 1993.

⁴ También se puede señalar otra paradoja persistente y que el modelo lineal se niega a aceptar: los laboratorios que más innovaciones tecnológicas producen son también laboratorios donde se produce un buen número de investigaciones de carácter fundamental.

vínculos tenían con centros de investigación son las empresas que tenían ya su propia unidad de investigación y desarrollo. Es decir, que la empresa debe contar con capacidades de investigación si quiere tener la posibilidad de realizar proyectos de investigación provechosos para ella, sean éstos ejecutados fuera o dentro de la empresa.⁵ Esta observación ha llevado a varios autores a pensar que la tecnología, y la investigación que la acompaña, están necesaria y estrechamente relacionadas con la capacidad de una empresa para absorber esta tecnología (Cohen y Levinthal, 1990). De manera general se sabe, hoy en día, que la investigación industrial está muy estrechamente vinculada a las habilidades propias de las empresas. Es decir, es producto del aprendizaje tecnológico que la empresa ha tenido en el transcurso de su historia (Arvanitis *et al.*, 1992; Pirela *et al.*, 1993).

Las características del aprendizaje nos plantean una interrogante que, para el caso de las empresas parece ser similar al problema de la "ciencia pública". El aprendizaje no solamente es propio para cada empresa, sino que es acumulativo en el tiempo —y depende entonces de la historia particular de cada empresa— y colectivo —depende del actor colectivo que es una empresa, o un taller de producción (Villavicencio y Arvanitis 1994). La investigación y el desarrollo son actividades del aprendizaje, en tanto que permiten a las empresas no solamente desarrollar proyectos de investigación, sino además cumplir con otras funciones en las cuales uno no piensa de inmediato, pero que tienen mucho que ver con el dominio tecnológico de la empresa como son: el monitoreo de las tendencias tecnológicas, el análisis de las especificaciones tecnológicas más adecuadas a la empresa, el apoyo a la producción, y a la comercialización (Arvanitis y Mercado, 1995).

El problema radica en explicar entonces lo que Dosi llama un "paradigma tecnológico", el marco general que hace que una empresa de polímeros tenga tecnologías muy similares a otra en la misma industria, la concepción común de la tecnología que permea a toda la comunidad tecnológica de la cual forman parte los ingenieros, científicos y especialistas de una tecnología (Constant, 1987). El aprendizaje, paradójicamente, parece ser lo que genera lo común, lo que permite acercar a dos experiencias y dos historias independientes; en gran medida —y sin entrar en el detalle de lo que es todavía un área de debate de la ciencia económica— esto se debe al hecho de que ciertas decisiones específicas⁶ generan irreversibilidades en la producción y en la manera de hacer y pensar las cosas técnicas (Callon, 1991). A partir de cierto momento se impone determinado modelo técnico y organizativo, económico y no existe manera de obviarlo, de pretender que no existe.⁷

Gran parte de este *aprendizaje* radica en la realización de ciertas actividades específicamente diseñadas por la propia empresa para seleccionar y desarrollar tec-

⁵ Varios autores han expresado serias dudas en cuanto a la posibilidad para las empresas de aprovechar eficientemente la investigación que no se realiza dentro de la empresa.

⁶ Vergragt llama a estas decisiones "nudos" en el transcurso de la larga serie de tomas de decisiones por la cual pasa un proyecto tecnológico (Vergragt, 1988; Vergragt, Groenewegen y Mulder, 1992).

⁷ Es lo que Paul David (1986) llama la "economía del teclado QWERTY" en su magnífico ensayo sobre la manera en que se impuso este tipo de teclados como norma.

nología. Además, este aprendizaje depende mucho de una serie de contactos que la empresa mantiene con su entorno (Pirela *et al.*, 1993; Villavicencio y Arvanitis, 1994). Una de las actividades esenciales, hemos acordado, es la actividad de investigación y desarrollo, actividad que quizá más que otra se relaciona en gran medida con el entorno, aunque esto no sea de manera directa y visible.⁸ Así, la cuestión de las relaciones universidad-empresa se debe replantear dentro de este marco.

Estas consideraciones nos permiten examinar de una manera renovada, con ojos más frescos, el tradicional problema de las relaciones universidad-empresa.⁹ Existen tres interrogantes a los cuales pensamos que estos nuevos enfoques podrían enriquecer.

1) ¿Cómo se logra que, aun siendo una actividad “privada”, la ciencia se convierta en un conocimiento “público” o semipúblico, es decir, asimilable por otros, apropiable y aplicable a otros ámbitos distintos del contexto muy peculiar que son los laboratorios de investigación en donde se diseñó esta ciencia?

2) ¿Qué tipo de ciencia se está desarrollando en los laboratorios cuando interactúan en programas conjuntos de empresas con universidades? ¿Cómo pueden ser compatibles actividades científicas de punta, altamente intensivas en conocimientos teóricos pero a la vez muy aplicados?

3) ¿Qué tipo de apoyos de carácter institucional se necesitan para ayudar a la formación de esta “ciencia pública”, en el sentido que acabamos de darle a la palabra, es decir, áreas de conocimientos nuevos y que además tienen consecuencias en la producción? ¿Qué tipo de política se necesita para fomentar el desarrollo de una ciencia orientada hacia la producción?

No quisiéramos entrar en más detalle a una discusión de orden teórico que hemos apenas esbozado. Hemos tratado de generalizar a partir de varias investigaciones de la reciente sociología de la ciencia (Latour, 1987) y de la técnica (Bijker, Hughes y Pinch, 1987), así como de la economía de innovación.¹⁰ Nuestra reflexión se basa en una concepción que considera que no existe una serie de conocimientos sino más bien una circulación de habilidades y capacidades. Desde esta perspectiva, el desarrollo tecnológico es un fenómeno acumulativo, sistémico e incierto, donde los conocimientos tácitos y los procesos de aprendizaje desempeñan un papel fundamental.¹¹ Además, compartimos la manera en que los representantes de estas escuelas de pensamiento tratan dichos temas planteando de manera pragmática la necesidad de “estudiar a la tecnología como un proceso negociado de resolución

⁸ Incluso cuando se examinan solamente los aspectos económicos de la actividad de investigación y desarrollo, podemos decir que su provecho “indirecto” es más importante que el provecho directo.

⁹ Recordamos que hemos hecho varios intentos para plantear los problemas fundamentales, más allá de los motivos y atributos de cada actor en los procesos de relación de los científicos universitarios con los industriales (Pirela, Rengifo y Arvanitis, 1991; Pirela, Rengifo, Arvanitis y Mercado, 1991).

¹⁰ Dosi *et al.* (1988); Lundvall (1992); Nelson (1993).

¹¹ Un buen ensayo sobre las disyuntivas que plantean estos conceptos es el reciente artículo de Cimoli y Dosi (1994).

de problemas y como un universo en el cual las dicotomías clásicas ciencia/tecnología, pura/aplicada, interno/externo, técnico/social no pueden aceptarse *a priori*" (Vessuri, 1994:77).

EL MACROPROYECTO DE GIRSA EN POLÍMEROS

Desde 1990, el Grupo Industrias Resistol (GIRSA) ha venido fomentando, con el apoyo de Conacyt y en el marco de su programa de Enlace Universidad-Empresa (Preain), la formación de una red de investigadores en torno al proyecto "Funcionalización de mezclas y aleaciones con plásticos de ingeniería vía extrusión reactiva". Este programa que se ha llamado el "Macroproyecto" ha involucrado a varias instituciones académicas de muy alto nivel de la UNAM, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), la Universidad de Guadalajara (UdG) y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).¹²

El Macroproyecto tenía varios propósitos.¹³ Técnicamente se trata de desarrollar polímeros y mezclas poliméricas por extrusión reactiva, es decir, provocar reacciones químicas en el proceso físico de extrusión. De este modo, la extrusión reactiva es un procesamiento que tiene la ventaja industrial de reducir los costos de elaboración de los polímeros y mezclas de polímeros, porque reúne en una sola fase las etapas de síntesis del polímero con etapas de fabricación del producto final. En los procesos de mezcla se pueden también buscar nuevos materiales con ciertas características particulares como dureza (resistencia a los golpes), resistencia a los cambios de temperatura u otras propiedades. Para lograrlo se deben agregar materiales que modifican la composición funcional del material base. Este proceso, llamado funcionalización, es de suma importancia industrial, ya que se pueden diseñar nuevos productos para mercados muy específicos, a la medida del cliente. Se debe también buscar compatibilizantes, es decir, materiales que permiten que se efectúe la mezcla, ya que los monómeros y polímeros que se usan no son materiales miscibles.

Es entonces un área que combina la necesidad de mucho conocimiento científico sobre los materiales, de mucha experiencia en su uso, y que tiene aplicaciones tecnológicas de sumo interés para la industria. Las mezclas de polímeros son una de las principales orientaciones de la investigación tecnológica a nivel mundial. Desarrollar un nuevo polímero es un proceso muy costoso, mientras que las mezclas permitían obtener nuevos productos con relativa facilidad. El Macroproyecto tenía como propósito desarrollar la experiencia tecnológica de la extrusión reactiva, proceso desconocido en México a su inicio y con sólo 10 años de experiencia a nivel

¹² Facultad de Química, UNAM; Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM-UNAM); Instituto de Física, UNAM. Departamento de Física, UAM-I; Departamento de Ingeniería en procesos e hidráulica, UAM-I; Facultad de Ciencias Químicas (Ingeniería), Universidad de Guadalajara (UdG); el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).

¹³ Existe una descripción completa de este Macroproyecto en el artículo de Dutrénit, G. *et al.* (1996).

internacional. El Macroproyecto permitió desarrollar varios de estos compatibilizantes.

Es importante señalar que el perfil técnico del proyecto se ha mantenido en los tres años y medio de su existencia, aunque en algunos casos el tipo de material que se está trabajando ha variado. Desde el punto de vista de la organización de la investigación, el Macroproyecto procuró la formación de recursos humanos de muy alto nivel en áreas de materiales poliméricos, la generación de conocimientos fundamentales y adquisición de habilidades en las áreas de investigación señaladas y el desarrollo de tecnologías.

En el Macroproyecto participó una parte significativa de la comunidad científica de alto nivel en el área de polímeros en México. Integró a la mayoría de los investigadores especializados en síntesis de polímeros, y a otros que tenían habilidades complementarias para los objetivos del proyecto.¹⁴ En 1994, poco antes de finalizar, en el Macroproyecto participaban alrededor de treinta investigadores confirmados sin contar estudiantes en maestrías y licenciaturas. Se puede entonces decir que el Macroproyecto merece ampliamente su nombre: es probablemente uno de los proyectos de investigación más grandes que se han dado en México.

Es muy importante señalar que la comunidad científica mexicana en polímeros es muy reciente y que varios de sus principales promotores —obviamente no todos ni en todas las áreas— han trabajado en el Macroproyecto. La Sociedad Polimérica se constituyó en 1985, y es el embrión de una comunidad científica organizada, resultado de un largo proceso iniciado en los años setenta. Los congresos bianuales realizados por esta Sociedad son un espacio para la interacción entre los investigadores en polímeros.

Un aspecto interesante es que se procuró establecer relaciones bastante estrechas entre instituciones académicas, como por ejemplo entre el IIM-UNAM y el CIQA y entre la FQ-UNAM y la UdG. Como se desprende de la propuesta de 1990 presentada por Leonardo Ríos en Conacyt, las tareas son similares para estos pares de instituciones pero con materiales distintos. La síntesis de materiales compuestos necesarios para examinar las propiedades ópticas que estudiaría el Departamento de Física de la UAM estaría a cargo de la FQ de la UNAM.

Aproximadamente 70% de los investigadores incorporados en la propuesta inicial del Macroproyecto se mantuvo durante todo el período, aunque algunos cambiaron de adscripción. Posteriormente se incorporaron nuevos investigadores en la Facultad de Química y en el CIQA.

¹⁴ Se puede incluso decir que la totalidad de los investigadores que trabajan en México ha estado al tanto del Macroproyecto antes de su inicio. Véanse detalles en nuestro informe.

LA TECNOLOGÍA Y SU INDUSTRIA

Uno de los posibles usuarios de los conocimientos fundamentales y desarrollos tecnológicos del Macroproyecto es la industria de mezclas y aleaciones de polímeros. En este sentido, resulta relevante describir sus principales tendencias.

Según Catalyst Consultant, empresa consultora que produjo un informe en 1990 sobre procesos reactivos,¹⁵ la industria de mezclado a nivel internacional es tecnológicamente tradicional. Uno de los factores que explica esta situación es la posición monopólica que General Electric ha mantenido en el mercado de mezclas poliméricas. Las patentes de General Electric tienen información incompleta con el fin de evitar la imitación, dada la facilidad relativa que hay para copiar los procesos de mezclado, a diferencia de los procesos de síntesis. Adicionalmente, la ciencia en materia de mezclas es relativamente nueva y ni los grandes formuladores de mezclas poliméricas comprenden cabalmente la química de los procesos que emplean.

En México no parece haber procesos de extrusión reactiva a escala industrial, con la excepción de Resistol y Condumex. La versatilidad del equipo de extrusión hace probable el uso de procesos reactivos para empresas que quisieran ampliar la gama de productos y mercados. Se abre así una oportunidad para la industria de la transformación de plásticos en México. Sin embargo, ésta es una de las industrias más dispersas y cuenta con aproximadamente 3 000 empresas en el territorio nacional, la gran mayoría pequeñas y con pocos recursos.

Se espera que la industria de las mezclas en el futuro esté pautada por las continuas introducciones de nuevos productos en los mercados. Eso hará que se reduzca el ciclo de vida de los productos, lo cual obliga a los productores a poner mayor atención a la comercialización, la asistencia al cliente y el monitoreo tecnológico y de mercado para poder observar los cambios continuos de procesos y productos que puedan ocurrir. La investigación y el desarrollo, así como el desarrollo tecnológico serán clave para las empresas que quieran entrar y mantenerse en estos mercados tan especializados y de naturaleza tan fluida.

Buena parte de la investigación parece orientarse al uso de resinas *commodities* para bajar los costos de producción, hacer más eficientes los procesos productivos de las mezclas y disminuir los insumos y/o efluentes. Por otra parte, la tendencia más fuerte de toda la industria química se orienta hacia la creación de productos con menor contenido en materiales peligrosos o tóxicos, la reducción de solventes y el remplazo de productos a base de solvente por productos a base de agua (pinturas, productos de tocador, barnices, pegamentos). Para la industria transformadora y las empresas formuladoras estas tendencias se vuelven críticas,¹⁶ además de que las tendencias globales industriales y tecnológicas abren una "ventana de oportunidad" para los países de menor nivel de industrialización por el carácter específico

¹⁵ Catalyst Consultants Inc. (1990), *Technical Advances in Reactive Processing for Polymer Blends/alloys Production, 1990-2000*, CCI, Spring House, CA.

¹⁶ Una revisión de estas tendencias está en Arvanitis y Mercado (1995).

de los productos y por el hecho de querer abastecer nichos de mercados con base en tecnologías intensivas en conocimientos pero relativamente menos intensivas en capital. Sin embargo, esta oportunidad debe ir acompañada de varias medidas de política industrial, tecnológica y de formación de recursos humanos y capacitación.

EL ESFUERZO DE VINCULACIÓN UNIVERSIDAD-INDUSTRIA COMO ORIGEN DEL MACROPROYECTO

Antes del lanzamiento de la convocatoria de un Macroproyecto por parte de Conacyt se habían desarrollado varios programas de enlace entre universidades y empresas. Éstos, en general, trataban de responder a las necesidades de las empresas de acceder a mano de obra altamente calificada. La experiencia que surgió de estos diversos programas de vinculación universidad-empresa han sido esenciales para la formulación del Macroproyecto, tanto en el Conacyt como en GIRSA.

Una característica general de estos programas es su orientación a nivel de posgrado, lo que denota una preocupación por la formación de recursos humanos de alto nivel. Aunque estos programas no fueron del mismo alcance ni contenido, la mayoría busca, según palabras de Roberto Alexander-Katz, "un equilibrio entre fomentar la consolidación de programas y permear del proyecto industrial al académico".¹⁷ En esta categoría se inscribe el plan IRSA-Universidad, el cual merece una mención especial por haber creado un precedente institucional de relaciones entre la empresa Resistol y la universidad. Además, varios de los actuales investigadores del Macroproyecto formaron parte de ese programa de asesores académicos en el plan IRSA-Universidad, desde el origen de la idea. Para algunos de ellos, el Macroproyecto es en la práctica una continuación de este plan.

LA DEFINICIÓN DE UNA POLÍTICA DE APOYO EN EL ÁREA DE POLÍMEROS

En 1972 el Conacyt constituyó un Comité de Polímeros. A fines de los ochenta dicho Comité dependía de la Dirección Adjunta de Modernización Tecnológica, en ese entonces dirigida por el doctor Asdrúbal Flores. El doctor Roberto Alexander-Katz estaba a cargo del Comité de Polímeros, en el cual participaban varios de los actuales investigadores que trabajan en el Macroproyecto, como por ejemplo: Eduardo Mendizábal, Francisco Ramos, Octavio Manero, Leonardo Ríos, etcétera.

Este Comité se constituyó en un espacio de debate, donde se recogían las diferentes iniciativas sobre la vinculación universidad-industria y se proponían alternativas. En este contexto se analizó el papel de Conacyt, la relación universidad-industria y las distintas formas de apoyar al desarrollo científico en relación con el desarrollo tecnológico. Se plantean dos inquietudes básicas: a) identificar áreas prioritarias en

¹⁷ R. Alexander-Katz, *Líneas de acción en el campo de polímeros*, s.f.

el campo de polímeros,¹⁸ y b) decidir las formas de apoyo más apropiadas, en particular para la formación de recursos humanos y la investigación.¹⁹

Fruto de esta reflexión, a inicios de 1990, el Comité de Polímeros concibió la realización de un concurso para financiar un "Macroproyecto". La convocatoria emplea esta palabra, y la idea esencial es la de un proyecto de gran magnitud, que involucre a varias instituciones, con la participación de una o varias empresas y con un horizonte temporal de largo plazo (tres años). La convocatoria no precisa contenidos, se abre a todo el campo de polímeros. Pero sí insiste sobre la *forma* que deben tener las propuestas, lo que permite enfrentar simultáneamente todos los problemas surgidos de las discusiones del Comité de Polímeros, como se puede observar en el cuadro que se presenta a continuación.²⁰ Adicionalmente se señala que "se deja libertad entre las partes para la adquisición de los derechos de propiedad".

Es difícil conseguir en la definición de políticas de ciencia y tecnología tal congruencia entre las necesidades identificadas en un comité de orientación, en este caso el Comité de Polímeros, y las acciones ordenadas por el ente ejecutor de la política, en este caso el Conacyt. El Comité, bajo la apelación de áreas prioritarias, en realidad no las diseñó, sino que fijó *las reglas del juego* y propuso un vocabulario claro en cuanto a la convocatoria. Es decir, se diseñó la doctrina general de Conacyt en cuanto a la forma del apoyo requerido para que se pudieran cumplir los objetivos generales de esta institución, expresados en el Plan Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica. (Véase cuadro.)

LA SELECCIÓN DEL MACROPROYECTO PRESENTADO POR GIRSA

Varios comentarios surgieron a raíz de la selección del proyecto de GIRSA. Entre todos los proyectos presentados ante Conacyt, la propuesta de GIRSA planteaba ciertas características muy importantes para el Comité de Polímeros. Se trataba de un proyecto ambicioso (Macro), reunía un gran número de instituciones e investigadores, y comprendía la temática más amplia y más fundamental. El tema del Macroproyecto, la "funcionalización de polímeros para aleaciones con plásticos de ingeniería vía extrusión reactiva", era un tema que requería conocimientos multidisciplinarios de química, ingeniería, modelización, física y métodos analíticos diversos. Se necesitaban conocimientos de química de polímeros, teoría termodinámica, habilidades de caracterización química y física de los materiales, física de polímeros, reología y mecánica de fluidos.

¹⁸ Alexander-Katz (s.f. a), (s.f. b). Quisiéramos agregar que probablemente buena parte de la reflexión sobre el papel de la actividad científica en el desarrollo tecnológico y el desarrollo nacional no se entenderían en México sin hacer referencia a la actividad del grupo industrial GIRSA.

¹⁹ Conacyt, DADT (1990), Alexander-Katz (s.f. c) y (s.f. d).

²⁰ Los problemas discutidos en el Comité se extrajeron de los informes de R. Alexander-Katz. Las soluciones ofrecidas se tomaron de la convocatoria al Macroproyecto publicada en 1990.

**PROBLEMAS DISCUTIDOS
EN EL COMITÉ DE POLÍMEROS**
**SOLUCIÓN OFRECIDA A TRAVÉS DEL
MACROPROYECTO**

La acciones del Conacyt deben estar orientadas a generar capacidades, metodologías, herramientas de ingeniería etc., de tal manera que tengan un efecto multiplicador.

El Macroproyecto debe ser “integrado, multi-institucional y multidisciplinario”.

Formación de recursos humanos.

El Macroproyecto “debe involucrar la formación de recursos humanos de alto nivel” a través de un programa de investigación conjunta universidad-industria.

Vinculación estrecha universidad-industria.

El Macroproyecto debe involucrar “por lo menos una empresa”, con “el patrocinio industrial mínimo del 15% del costo total del proyecto”, y “la participación obligatoria de investigadores y técnicos de la(s) empresa(s) y de universidades”. Conacyt no apoya la totalidad del costo del proyecto.

Se debe apoyar a la alta tecnología.

—Desarrollar materiales de punta.
—Diseñar nuevos procesos de polimerización.

Se deben apoyar las “tecnologías medias”:

1) Optimización de procesos,

Modificar procesos existentes para mejorar sus propiedades y aumentar su valor agregado.

2) modificación de las propiedades de materiales comunes;

Modificar las propiedades de los materiales comunes.

3) racionalización de las normas en términos de propiedades, estructura y variables de proceso.

Una parte del proyecto deberá consistir en la racionalización de la tecnología propuesta.

Para fines de nuestra discusión es importante resaltar que el proyecto no se proponía resolver ningún problema específico de la empresa Resistol, como era el caso de la propuesta de Condumex o de otros proyectos. Buscaba investigar sobre un tema novedoso, un método de producción desconocido en México —la extrusión reactiva— y reunir capacidades científicas complementarias. Sin embargo, Resistol se comprometía a “[...] orientar las líneas de investigación del proyecto hacia áreas de interés industrial”.²¹

Es importante señalar que en ese momento en México existía muy poco conocimiento sobre extrusión reactiva. Un artículo de V. M. González Romero, de la Universidad de Guadalajara, que presentaba los métodos de procesamientos reactivos,²² había circulado entre la comunidad científica. Leonardo Ríos tuvo referencias en Francia de este nuevo proceso y se interesó en el mismo, teniendo en mente el área de negocios de plásticos de ingeniería de Industrias Resistol. Algunos investigadores de Resistol tenían conocimientos a partir de su participación en los desarrollos tecnológicos de Monsanto, quien reportaba usar extrusión reactiva. Otra clara señal de la importancia de esta área era el hecho de encontrar varias patentes que mencionaban procesos de extrusión reactiva.²³ La novedad era grande, y más si se piensa en los usos que se le quería dar a dicha tecnología, en el campo de la funcionalización de polímeros y mezclas.

LA EVOLUCIÓN DEL MACROPROYECTO

Se pueden identificar tres etapas en el desarrollo del Macroproyecto: un primer periodo corresponde al primer año de investigación. Una vez que se aprobó el proyecto, cada grupo comenzó a trabajar en su temática de investigación y en el desarrollo de la infraestructura necesaria. Leonardo Ríos, generador de la idea del proyecto, asumió el papel de líder del mismo. Su liderazgo en esta etapa se caracterizó por permitir una amplia libertad de acción sin realizar un esfuerzo significativo de coordinación interna del Macroproyecto. Cada grupo avanzó en las áreas seleccionadas inicialmente.

Poco antes de comenzar las actividades del Macroproyecto ocurrió un acontecimiento de gran importancia. GIRSA decidió cesar las actividades productivas en el área de plásticos de ingeniería. Es así que en forma abrupta, el tema del Macroproyecto, que era aplicar los métodos de funcionalización y la extrusión reactiva a plásticos de ingeniería, se encontró fuera de la línea de negocios de GIRSA. A partir de este momento se pensó en incluir nuevos materiales en las mezclas realizadas en el Macroproyecto, de tal forma que siguiera siendo de interés para otros negocios de

²¹ Oficio del ingeniero Joaquín Carreras dirigido al doctor Asdrúbal Flores, en el cual se presenta la propuesta de Macroproyecto de Resistol, 1990.

²² El artículo debe ser de 1989 y se intitula: “Procesamiento reactivo de polímeros”, Víctor Manuel González Romero. No se pudo identificar la revista, que es nacional.

²³ Entrevistas con Leonardo Ríos y Sergio del Valle. En el listado de Tzoganakis (1989) se mencionan unas 24 patentes de extrusión reactiva.

la empresa. En este sentido, se identifica el ABS como un material que desde el punto de vista tecnológico tenía varias posibilidades de desarrollo y era un área productiva donde las perspectivas de funcionalizar y hacer extrusión reactiva seguían siendo propuestas válidas. Además, el negocio del ABS de GIRSA era uno de los mejores clientes del CID. La reorientación hacia el ABS era una solución que pretendía conciliar los intereses de la empresa con los objetivos del proyecto aprobado. Con tal fin se sugirió a los investigadores incluir el ABS en los materiales que estudiaban.

Un segundo período, a partir de 1992, permitió la conformación de un proyecto integrado. María Amelia Cruz asumió la coordinación operativa del Macroproyecto. Al inicio de este año ocurrió otro cambio importante en los negocios de GIRSA. La empresa decidió vender su unidad de producción de ABS frente a la competencia de General Electric. Así, el CID perdió uno de sus mayores clientes. Este hecho, aunado a las dificultades financieras de la empresa, determinó la decisión de reducir el personal del CID. La presión de GIRSA empezó a ser mucho más fuerte para que se orientaran las labores del CID hacia investigaciones más instrumentales, cercanas a los problemas de los negocios de la empresa. Esta situación afectó nuevamente el interés de GIRSA por el Macroproyecto, y cerró uno de los principales mercados potenciales de algunos desarrollos que ya se habían iniciado a partir del ABS. Pese a estas dificultades, una vez más el CID mantuvo su compromiso con el Macroproyecto.

Un tercer período empezó el siguiente año, cuando Leonardo Ríos, interpretando la nueva política de Resistol, solicitó y obtuvo de Conacyt un apoyo adicional para avanzar hacia la comercialización de algunos desarrollos tecnológicos del Macroproyecto. A partir de ese momento, la idea de la comercialización estuvo presente en las reuniones del Macroproyecto. Es importante señalar que esta nueva dirección del mismo fue bien recibida por Conacyt, pues así lograba materializar la idea de que los proyectos de investigación tecnológica de la universidad pueden llegar al mercado. GIRSA, en ese caso, asumió el papel de empresario innovador, seleccionó las tecnologías y participó con las universidades en los desarrollos tecnológicos con el fin de transformarlos en productos.

Pero esta orientación que parecía apropiada para el CID no lo era en general para los investigadores universitarios. En efecto, argumentaron que el Macroproyecto no fue pensado como un proyecto de desarrollo tecnológico, sino como un programa de investigación; por ello, lo que más importaba eran los productos académicos (artículos y ponencias en congresos) y la formación de recursos humanos. Consideraban que el papel de la Universidad no era realizar desarrollos tecnológicos específicos, sino que esta función correspondía a la empresa. No se oponían a la idea de que se comercializaran algunos desarrollos, pero sí a plantearlos como un nuevo objetivo del proyecto y a ser evaluados en esos términos.

²⁴ Véanse detalles en nuestro informe. Gran parte de esta labor fue trabajo del ingeniero Sergio Del Valle.

En este contexto se replanteó el problema de la propiedad intelectual de los desarrollos del Macroproyecto.²⁴ GIRSA reafirmó su posición inicial de reconocer la propiedad intelectual de las instituciones académicas y se reservaba la prioridad para la adquisición de esos derechos a precios de mercado. Esto significaba que GIRSA no tenía la exclusividad de los desarrollos, pero quería asegurar la primera opción sobre los posibles desarrollos y oportunidades de negocios.

Un aspecto interesante es que a raíz de esa discusión, GIRSA tuvo que detectar "oportunidades tecnológicas", e identificar posibles aplicaciones de los desarrollos realizados en cada institución. Asimismo, el CID avanzó hacia desarrollos tecnológicos específicos y obtuvo varias oportunidades de negocios vinculadas a las áreas de interés de GIRSA. Adicionalmente, el IIM de la UNAM realizó en el CID un desarrollo a nivel de planta piloto. En el informe anual del final del segundo período (redactado en enero 1994), ya se establecía claramente que todas las instituciones deben detectar oportunidades tecnológicas, "realizar estudios de factibilidad técnico-económica a nivel piloto, de aquellos materiales que presentan propiedades insólitas [y] [...] patentar los descubrimientos relevantes del Macroproyecto".²⁵

LA CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA

El Macroproyecto ha obtenido un gran número de logros tangibles, tales como: publicaciones en revistas de circulación internacional, formación de recursos humanos a nivel de licenciatura y maestría, tesis concluidas, desarrollo de infraestructura, oportunidades tecnológicas para su aplicación a productos y procesos, algunas oportunidades de negocios, etc. Pero existe un conjunto de logros no cuantificables directamente, tal vez más importantes si se consideran sus efectos en el contexto de la construcción de capacidades científicas y tecnológicas nacionales. Entre éstos se destacan: la constitución de una red de investigadores de múltiples instituciones en torno a un proyecto conjunto, la interacción entre diferentes facultades o departamentos de una misma institución, el desarrollo de nuevas habilidades tanto en el campo propiamente científico como tecnológico y el haber desarrollado una vivencia de vinculación universidad-industria. En pocas palabras, son logros todos derivados de la existencia de una red científica que vincula a los investigadores entre sí.

En efecto, desde los primeros meses de la realización de la investigación hubo contactos entre los equipos de investigación que estaban incluidos en la propuesta del Macroproyecto. De este modo, no solamente se identificaron complementariedades entre los investigadores sino que se generaron efectos de retroalimentación, lo cual produce sinergia de conocimientos y capacidades. La forma defuncionamiento operativo (reuniones periódicas, presentación de avances, circulación de informes escritos, etc.) favoreció el desarrollo de un conocimiento mutuo de las temáticas y habilidades específicas de cada investigador, a partir del cual se organizó el trabajo,

²⁵ *Resumen de resultados del Macroproyecto, segundo período, 1994.*

se generaron complementariedades en los proyectos específicos realizados y se identificaron potencialidades a futuro.

Desde el punto de vista de la estructura de las relaciones que se establecieron, la red es lo que se llama en sociometría una red "coherente", es decir, que todos los participantes están en contacto (aunque no de la misma forma y no por el mismo contenido). Por esta razón, muchas veces se llaman clubes (Burt, 1982). Sin embargo, y más allá de lo que permite esbozar la teoría de redes sociales, en la red no circuló solamente información. Se han generado proyectos conjuntos entre investigadores e instituciones para poder cumplir con los objetivos planteados en el mismo. Muchas veces, las instituciones se relacionan de forma poco profunda a través de la asesoría por ejemplo de un estudiante. En otras ocasiones, esta misma forma de relación puede ser muy fuerte e implicar consecuencias mucho más importantes en los desarrollos científicos (como es el caso de un doctorante que trabaja en el CID y elabora su doctorado bajo la dirección de un investigador del IIM). Otras veces, se desarrollan proyectos en un laboratorio donde los conocimientos y resultados de otro son absolutamente necesarios. En pocas palabras, como para todas las redes "coherentes", en esta red del Macroproyecto se construyeron valores, creencias y prácticas comunes sin que necesariamente haya institucionalización.²⁶

Es importante aquí subrayar que en un principio se pensó en buscar la *complementariedad* de habilidades entre varios de los integrantes de la red; sin embargo, posteriormente, el efecto de *retroalimentación* de conocimientos se convirtió también en una palanca importante en la dinámica de la red. Así, cada equipo de investigación, cada grupo de trabajo desarrolló sus propios conocimientos, su propia experiencia.

EL DESARROLLO DE UNA CAPACIDAD TECNOLÓGICA COLECTIVA

Hemos tratado de identificar la existencia de un saber *colectivo*, es decir, un conocimiento que no está en las manos de ninguno de los investigadores en particular, o casos en los cuales el trabajo de un investigador dependa del avance de otro.²⁷ Nos parece que este saber colectivo no radica en los conocimientos técnicos particulares, como pueden ser la fabricación de adhesivos ecológicos libres de solventes (a base de hules o poliolefinas funcionalizadas). Así, por ejemplo, se elaboró un conocimiento técnico particular para la extrusión reactiva del ABS con ácido maleico para mejorar sus propiedades térmicas. Es un conocimiento particular, o más bien,

²⁶ Obviamente, no todas las relaciones de intercambio de información se han convertido en relaciones estrechas de investigación. Si se representa gráficamente la red de contactos de investigación (y no sólo de intercambio de información) se obtendría una imagen diferente, con menos vínculos entre los grupos. Véase nuestro artículo (Dutrénit, 1996) al respecto.

²⁷ El estudio clásico de Collins ha demostrado la existencia de este tipo de conocimiento (Collins, 1975). En sociología del trabajo se ha demostrado la existencia de conocimientos colectivos de operación de los equipos de producción (Villavicencio, 1990).

el uso de un conocimiento más genérico que demuestra que es posible modificar (funcionalizar) los materiales para mejorar sus propiedades.

Así, el saber colectivo cubre, por una parte, aspectos bastante cercanos al *uso de los materiales* elaborados o comprobados a través de la investigación; por otra parte cubre los aspectos que están relacionados con *el manejo y gestión de la red* en un sentido muy amplio, es decir, con la forma en que se realizan los vínculos con la industria y —más importante— con la forma de plantear los problemas de investigación (lo que incluye la elaboración y presentación de las propuestas, la negociación de objetivos específicos, las decisiones en cuanto a “rutas de experimentación”, los tipos de financiamientos por recibir, la gestión de los aspectos colectivos del proyecto, el tipo de resultados que se exponen en las reuniones). Examinemos estos dos aspectos.

Los conocimientos propios de la red, el saber colectivo, son todos aquellos que se generaron para aprender a manejar la funcionalización de los materiales. Las investigaciones desarrollaron conocimientos que pueden en un futuro —quizás muy próximo— traducirse en productos y procesos específicos. Éstos son probablemente los conocimientos actualmente más “colectivos”, en el sentido de que se deben realizar nuevos desarrollos (montaje de experimentos, pruebas) para generar artefactos o materiales que se pueden producir y comercializar.²⁸ De paso eso explica la necesidad de las empresas, si no quieren perder la posibilidad de entrar en una nueva área de producción, de no abandonar la investigación.

La naturaleza de los desarrollos explica esta dimensión, muy bien ilustrada en el Macroproyecto. Se ha venido diciendo que la ciencia se ha acercado a la tecnología, y que a su vez ésta se ha acercado a la ciencia. A medida que la tecnología depende más de la materia misma, del propio contenido de los materiales (y no solamente de sus usos), de las moléculas y no solamente de la cinética, se necesita más conocimiento llamado “fundamental”. Es así que estamos frente a una paradoja nueva. Aparece la necesidad de una *investigación tecnológica básica*,²⁹ que no es ciencia básica, porque es dependiente de los propios procesos industriales, y no es sólo aplicación, porque necesita un conocimiento que no es solamente de carácter ingenieril. Las llamadas “nuevas” tecnologías tienen esta característica esencial.

Un aspecto esencial es que la *investigación tecnológica básica* “tiene sentido y eficacia, solamente en el marco de una red larga que va desde lo más fundamental hasta el usuario final, pasando por todas las etapas de la producción, de la transformación y de la traducción del conocimiento en bienes para el consumo” (Laredo, 1990:168). Para las empresas, la conclusión es la necesaria integración de la investigación en la estrategia de la empresa. Esta investigación tecnológica básica tiene varias facetas para la industria y para la universidad. La generación de conocimientos que no tienen una aplicación inmediata en la producción, y aun la redundancia de los mis-

²⁸ Quizá no sea casualidad que Collins (1975) realizara su clásico estudio, el cual demostró lo “colectivo” del conocimiento en un área tecnológica, como son los láseres.

²⁹ La palabra aparece por primera vez en el informe de Laredo y Callon, 1990, pp. 166 y ss.

mos, ofrece a la industria un abanico más amplio de oportunidades tecnológicas, y genera versatilidad para adaptarse rápidamente a los cambios tecnológicos imprevistos. A su vez, la universidad encontrará un interés en la medida en que los proyectos aborden conocimientos fundamentales y en la frontera del conocimiento. Así, los universitarios tienen mayores posibilidades de obtener productos de su investigación con reconocimiento internacional. Pero en la interfase entre lo más fundamental y las posibles aplicaciones radica una serie de resultados que son, por definición, inacabados, ya que necesitan más desarrollos.

El caso del Macroproyecto mostró este problema. GIRSA abandonó dos áreas de negocios que estaban directamente interesadas por los posibles resultados del Macroproyecto. De este modo, el CID no hizo el trabajo de instrumentar los resultados más fundamentales en un plan de desarrollos tecnológicos y productivos para las unidades de producción. Sin embargo, se generaron conocimientos que en algún momento deberán acudir de nuevo a los conocimientos desarrollados por cada equipo de investigación para encarnarse en productos y tecnologías productivas. Es así que GIRSA ha obtenido beneficios de este proyecto, muchos de los cuales trascienden los resultados particulares obtenidos hasta el momento. Por un lado, ha movilizado un conjunto de capacidades más amplio del que posee hacia la generación de conocimientos básicos en su área de negocios. Si se desvincula de la red se destruyen capacidades en la misma, pero también en la propia empresa. Por otro, ha tenido la ventaja de ser el primero en coordinar un proyecto de este tipo, por lo cual nadie le ha disputado la orientación en la generación de capacidades y, a su vez, ha podido conocer ampliamente los resultados parciales de las diferentes etapas de la investigación; de esta forma puede apropiarse más fácilmente de las oportunidades tecnológicas que aparecen.

UN APRENDIZAJE DE LA VINCULACIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA

El segundo punto que surge del análisis de la historia del Macroproyecto, radica en lo que brevemente puede llamarse la "gestión de la investigación".³⁰ A través de la creación de la red se desarrolló un *aprendizaje conjunto* sobre las formas, alcances y problemas de la vinculación universidad-industria y el papel de cada actor. Asimismo, se pudieron identificar problemas que surgen de la relación entre los distintos actores con objetivos y dinámicas diferentes, y mecanismos de solución a los mismos. Más importante, nos parece que se construyó una visión común sobre el papel de la universidad y de la industria en el desarrollo científico y tecnológico, lo cual permite desarrollar un lenguaje común, crea canales y códigos para el flujo de información, y contribuye al desarrollo de una cultura tecnológica en ambos agentes, propia pero compatible. Quizá lo menos evidente y más importante sea que tanto

³⁰ Hemos podido formular recomendaciones específicas en cuanto al manejo de las relaciones universidad-empresa en nuestro informe. En estas líneas queremos solamente insistir en los fundamentos de estas recomendaciones.

los académicos como los "industriales" se dieron cuenta de que la posibilidad de desarrollar tecnologías efectivas no es el producto de una relación de oferente a comprador, de un contrato de adquisición de un "producto de la investigación", sino de una interrelación, de una colaboración en el sentido más estrecho y profundo de la palabra, es decir, cuando se da la formación de un ideario común, de métodos y decisiones conjuntas.

La importancia de esta colaboración, de esta red que va más allá del intercambio de información radica en que potencia el conocimiento de los investigadores que participan en la misma, orienta el desarrollo de nuevos conocimientos hacia áreas específicas, permite crear nuevas pautas de comportamiento y de actitud hacia la vinculación universidad-industria de los investigadores involucrados, los estudiantes formados, los técnicos que apoyan la investigación y los empresarios. Así, la red tiene un impacto constructivo sobre la comunidad científica y tecnológica en la cual se inserta. Por esta razón, podemos sin exageración decir que el Macroproyecto contribuyó a la estructuración del medio científico y tecnológico.

Finalmente, y quizás sea esto el resultado menos visible en la actualidad, el Macroproyecto abrió una "ventana de oportunidad" tecnológica. Se crearon nuevas habilidades y capacidades científicas en áreas con gran perspectiva a futuro, como son los procesos de extrusión reactiva, la compatibilización y la funcionalización de polímeros. De desarrollarse la industria de mezclas y aleaciones de polímeros, se tendrá en México capacidades para enfrentar las necesidades de una industria que, por lo menos a nivel mundial, da signos de una rápida expansión. Y es el Macroproyecto el que ha generado una base de conocimientos científicos y tecnológicos de tal magnitud para este tipo de proyectos.

CONCLUSIONES

Existen varias conclusiones posibles relacionadas con el Macroproyecto. Ante todo, existen conclusiones de orden práctico en cuanto a gestión de la investigación, y otras en cuanto a las condiciones bajo las cuales la investigación y el desarrollo pueden o no dar lugar a colaboraciones efectivas entre centros de investigación públicos y empresas. Hemos expuesto en otra parte estas consideraciones prácticas (Dutrénit *et al.*, 1996). En este trabajo quisiéramos ante todo insistir en aspectos más fundamentales en cuanto a la significación del Macroproyecto, que están relacionados con los tres puntos que se presentaron en la primera parte.

1. La ciencia "pública" es una comunidad científica estructurada

Un proyecto de la magnitud del Macroproyecto es ante todo una manera de convertir los conocimientos más específicos en un experiencia compartida. Los economistas suelen hablar de externalidades partiendo del paradigma de la ciencia como bien público. Como lo hemos dicho en nuestra introducción, si abandonamos este esquema entonces tenemos que aceptar que los resultados de la actividad científica son

ante todo de carácter "local", es decir, que su posible uso es "calibrado" para quedar acorde con las necesidades de los intereses que participaron en su generación.

Esto significa que se debe dar un formidable esfuerzo para que las actividades científicas se hagan visibles fuera de los muros de los laboratorios en donde se realizaron. Pensamos que el Macroproyecto permitió realizar este esfuerzo aunque en una escala pequeña y en una área de conocimiento determinada. Lo que observamos en el transcurso de la historia del Macroproyecto es la convergencia de ideas, el interés compartido, aunque fuera superficial, a través de las reuniones comunes y de los intercambios de bibliografía y de preguntas o dudas que surgen a lo largo del tiempo. Tres o cuatro años son muy poco tiempo en la vida de un investigador para que se diga que en ellos se basa una reflexión de conjunto; pero obviamente, para muchos de los participantes, los interrogantes que se plantearon en el Macroproyecto y la manera de resolverlos fueron una experiencia importante que puede generar nuevos proyectos, nuevos intereses, nuevas reflexiones. De hecho, en la actualidad, tanto en GIRSA como en los laboratorios universitarios, las temáticas desarrolladas en el marco del Macroproyecto se tratan de encarnar en nuevos proyectos. Así, por ejemplo, la Universidad de Guadalajara estableció un proyecto con España sobre materiales compuestos con fibras naturales donde la compatibilización se logra vía extrusión reactiva; Negromex explora la funcionalización de sus hules para nuevas aplicaciones, y el CID trabaja con la UNAM en adhesivos sin solventes. Incluso existen planes de compras de equipos de laboratorio y de pruebas piloto en varias de las instituciones participantes. Así, se creó un área de interés para desarrollos científicos y tecnológicos. Éste es un primer paso en la creación de una "ciencia pública". Ahora toca a otras empresas —o a la misma—, así como a otros equipos de investigación —o a los mismos— avanzar en esta novedosa área.

Vale la pena aquí enfrentar una de las críticas que se hizo al Macroproyecto: varios investigadores entraron en él con un proyecto de investigación ya estructurado y lo único que hicieron fue seguir su plan inicial. Primero, se debe decir que eso concierne únicamente a una parte de los investigadores, evidentemente a aquellos con más larga trayectoria. Segundo, se debe recordar que en todos los programas de apoyo a proyectos de investigación, incluso cuando tienen un matiz fuertemente "aplicado" o cuando están diseñados para "orientar" a la investigación, una gran parte de los laboratorios sigue con sus planes de investigación anteriores a la convocatoria del Conacyt. Es decir, los programas que apoyan la investigación tienen como resultado fomentar la asociación de competencias, la diversificación de las temáticas de investigación, más que generar equipos y temas de investigación (Laredo y Callon, 1990). En breve, el papel principal de un macroproyecto es fomentar la estructuración del medio científico-tecnológico, no generarlo.

De este modo, una primera conclusión esencial es que a través del Macroproyecto se consolidó la comunidad de investigación en polímeros desde el punto de vista del contenido mismo del conocimiento, porque se estructuró el medio. Si generalizamos esta conclusión, entendemos que los proyectos de carácter multi-institucional, con una coordinación efectiva (y no solamente administrativa) en donde los participantes tienen la

obligación de compartir resultados, son un embrión de lo que se puede llamar una verdadera “ciencia pública”.

2. Investigación tecnológica básica: una investigación que no es básica o aplicada, sino tecnológica

Hemos tratado de caracterizar el tipo de conocimiento que se está desarrollando en la red que se nombró Macroproyecto. Hemos insistido en que es básica, y por tanto de interés académico, y aplicada, y por tanto de interés industrial. Nos parece que el meollo del problema radica en la naturaleza del conocimiento tecnológico que necesita conocer aspectos muy fundamentales y trucos que se aprenden a través de la práctica empírica. La tecnología es un conjunto de conocimientos heterogéneos, y esta heterogeneidad la hace difícil de definir. Su desarrollo entonces no radica en aislar el mundo de la producción del mundo académico, sino en acercarlo. Mientras más esfuerzos se dan en el sentido del acercamiento, más posibilidades habrá de crear oportunidades de nuevos proyectos tecnológicos y productivos.

Para el punto que aquí nos interesa, hemos explicado ampliamente por qué hay muchas posibilidades de que se encuentren objetos de investigación fundamentales en áreas de trabajo industriales. La tecnología puede ofrecer objetos de investigación, y una vez creado este interés, nos parece que los demás problemas son exclusivamente cuantitativos. Con más apoyos, más personal, más empresas, más equipos de investigación, se darán más desarrollos. Para dar solución a ese problema cabría en un país como México darle pleno reconocimiento a áreas menos “nobles” del conocimiento dentro de la comunidad científica, como son los conocimientos tecnológicos.

Esto no significa que todo conocimiento desarrollado en áreas tecnológicas—incluso cuando lo es por la investigación y el desarrollo de empresas privadas—sea un conocimiento inmediatamente aplicable a las necesidades de la empresa. La adaptación de lo que produce el laboratorio en un objeto que se pueda integrar en la producción es del dominio de la empresa y de su organización interna, en breve de su estrategia, y no es dominio de la investigación. Y como ya se ha mostrado en varios estudios, esta capacidad de transformar la oferta en tecnología productiva es resultado del aprendizaje de la empresa, y no depende de la investigación, ni de los apoyos externos.

3. Una política específica para el apoyo a la estructuración de las comunidades científicas

Para finalizar, quisiéramos decir que observando el caso del Macroproyecto, estamos en el propio corazón de los interrogantes de la política científica con una de sus más formidables disyuntivas: ¿debe la autoridad pública apoyar la generación de la comunidad científica, como lo han hecho tradicionalmente los organismos de política científica, o bien debe apoyar su estructuración, fomentando redes y colaboraciones? En realidad, estas dos posibilidades son complementarias. Todo el problema radica en dosificar una y otra política: apoyar la formación de investigadores a

través de becas y subvenciones hacia las instituciones de enseñanza y de investigación es crucial, pero no debe hacerse a costa de la colaboración en la estructuración de un medio, del fomento de vínculos interinstitucionales. En América Latina, esto último ha sido abandonado en las instituciones extranjeras o internacionales. Dada la importancia cognoscitiva, epistémica, de contenido, de orientación que tiene la estructuración del medio, pensamos que se debe subrayar dicha estructuración en el futuro de las políticas de ciencia y tecnología.

Las actividades que parecen ser clave en esta orientación del fomento de la estructuración son la concertación entre tipos de actores distintos: académicos de varias áreas (la famosa "multidisciplina"), personas de varias instituciones, públicas y privadas; de universos que pocas relaciones tienen de por sí, como son las empresas y las universidades, representantes del mundo político, financiero y productivo al lado del universitario. El Comité de Polímeros del Conacyt fue una expresión muy acabada de esta idea, y por esta razón produjo un proyecto de la magnitud e importancia del Macroproyecto.

En México, como en varios otros países, tenemos un débil marco institucional para la innovación, el cual afecta la dinámica y el desempeño tecnológico de las empresas. Proyectos como el Macroproyecto contribuyen a crear nuevos hábitos y conductas, y en esta medida permiten generar innovaciones institucionales por medio de la creación de nuevas instituciones o el desarrollo de las existentes. Hasta hoy, la solución práctica que han dado los investigadores es apoyarse en sus relaciones personales, ya que las instituciones no reconocen el esfuerzo de vinculación *per se*.³¹

Si tuviéramos solamente una recomendación que hacer sería *que se multipliquen proyectos de este tipo en diferentes áreas temáticas*, dado que: *a)* son un mecanismo de política científica y tecnológica que contribuye simultáneamente al desarrollo de la ciencia y la tecnología, a la estructuración del medio científico-tecnológico y a la acumulación de capacidades; *b)* permiten un aprendizaje conjunto de los actores; *c)* crean la base de conocimientos necesarios para sostener una posición competitiva de las empresas en el contexto de un cambio tecnológico acelerado, y *d)* permiten a la universidad interiorizarse en los problemas industriales y actualizar la formación de los recursos humanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aftalion (1989), *Histoire de l'industrie chimique*, París, Masson.

Alexander-Katz, R. (s.f. a), "Anteproyecto de áreas prioritarias en el campo de polímeros", mimeo., Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Conacyt.

³¹ Como lo demuestra el gran número de ejemplos que recoge el libro dirigido por H. Vessuri (1995).

- Alexander-Katz (s.f. b), "Líneas de acción en el campo de polímeros", mimeo., Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Conacyt.
- Alexander-Katz (s.f. c), "Formación de recursos humanos a nivel posgrado en el campo de polímeros", mimeo., Conacyt, DADT, Comité de Polímeros.
- Alexander-Katz (s.f. d), "Análisis y comentarios de la propuesta del programa de Formadores de Recursos Humanos", mimeo., Conacyt, DADT.
- Arvanitis, R. (1993), "Innovaciones sin innovadores: la difícil relación de la investigación con la industria", *Argumentos* (UAM-XOCHIMILCO), 19 de agosto, pp. 7-24.
- Arvanitis, R. (1996), *La relación incierta. Ciencia aplicada y desarrollo en Venezuela*, Editorial FINTEC, Caracas.
- Arvanitis, R., M. Callon y B. Latour (1986), *Évaluation des politiques publiques de la recherche et de la technologie. Analyse des programmes nationaux de la recherche*, La Documentation Française, París.
- Arvanitis, R., A. Mercado, R. Rengifo y A. Pirela (1992), "Technological Learning in the Venezuelan Company: Path of Innovation", *Journal of Scientific and Industrial Research* 51 (1), Nueva Delhi, pp. 32-41.
- Arvanitis, R. y A. Mercado (1995), "Los retos para la investigación y desarrollo en la industria química de América Latina", en P. Arnoldo (comp.), *Innovación y cultura empresarial: la industria química en Venezuela*, FINTEC/Fundación Polar/Monte Ávila Editoras, Caracas.
- Bijker, W. E. y J. Law (comps.) (1992), *Shaping Technology/Building Society*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Bijker, W., T. Hughes y T. Pinch, (comp.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Social Study of Technology*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Burt, R. S. (1982), *Toward a Structural Theory of Action*, Academic Press, Nueva York.
- Callon, M. (1986), "The Sociology of Actor-Network: The Case of the Electrical Vehicle", en M. Callon, J. Law y A. Rip (comps.), *Mapping the Dynamics of Science and Technology, Sociology of Science in the Real World*, MacMillan, Londres, pp. 19-34.
- Callon, M., J. Law y A. Rip (1986), *Mapping the Dynamics of Science and Technology, Sociology of Science in the Real World*, MacMillan, Londres.
- Callon, M. y B. Latour (comps.) (1989), *La science et ses réseaux. Génèse et circulation des faits scientifiques*, La Découverte/Conseil de l'Europe/UNESCO, París.

- Callon, M. (1991), "Réseaux techno-économiques et irréversibilités", en R. Boyer, B. Chavance y O. Godard (comp.), *Les figures de l'irréversibilité en économie*, Editions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, París, pp. 195-230.
- Callon, M., J. P. Courtial *et al.* (1991), "Tools for the Evaluation of Technological Programmes: An Account of Work Done at the CSI", *Technology Analysis & Strategic Management*, 3(1), pp. 3-41.
- Callon, M. (1994), "Is Science a Public Good?", *Science, Technology and Human Values* 19(4) pp. 395-424.
- Cimoli, M. y G. Dosi (1994), "De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación", *Comercio Exterior* 44(8), pp. 669-682.
- Cohen, W. y D. Levinthal (1990), "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation", *Administrative Science Quarterly* 35(1), pp. 128-152.
- Collins, H. M. (1975), "The Seven Sexes: Study in the Sociology of a Phenomenon, or the Replications of Experiments in Physics", *Sociology* 9(2), pp. 205-224.
- Conacyt, DADT (1990), "Programa de Formadores de Recursos Humanos".
- Constant, E. W. (1987), "The Social Locus of Technological Practice: Community, System, or Organization", en W. Bijker, T. Hughes y T. Pinch (comps.), *New Directions in the Social Study of Technology*, MIT Press, Cambridge, Mass., pp. 223-242.
- Corona, J. G. Dutrénit y C. Hernández, (1993), "La interacción productor-usuario de innovaciones: una síntesis del debate actual", *Comercio Exterior*, México (en prensa).
- David, P. (1986), "Understanding the Economics of QWERTY: the Necessity of History", en W. N. Parker (comp.), *Economy History and the Modern Economist*, Basic Blackwell, Nueva York, pp. 30-49.
- Dosi, G., C. Freeman *et al.* (comps.) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publisher, Londres.
- Dosi, G., K. Pavitt y L. Soete (1990), *The Economics of Technical Change and International Trade*, Harvester Wheatsheaf, Londres.
- Dutrénit, G. y M. Capdevielle (1993), "El perfil tecnológico del sector manufacturero mexicano y su dinámica innovadora en la década de los ochenta", *El Trimestre Económico*, vol. 60(3), núm. 239, México.
- Dutrénit, G., R. Arvanitis, M. Capdevielle, M. A. Cruz, S. Del Valle, L. Ríos, A. Vera-Cruz, D. Villavicencio (1996), "La vinculación universidad-empresa en un macroproyecto de polímeros", *Comercio Exterior* 46(10), pp. 808-816.

- Freeman, C. (1974/1975), *The Economics of Industrial Innovation (La teoría económica de la innovación industrial)*, Alianza Editorial, Madrid.
- Freeman, C., J. Clark y L. Soete (1982), *Unemployment and Technical Change*, Pinter Publisher, Londres.
- Haber, L. F. (1971), *The Chemical Industry 1900-1990*, Oxford University Press, Londres.
- Katz, J. (1986), *Desarrollo y crisis de la capacidad tecnológica latinoamericana: el caso de la industria metal-mecánica*, CEPAL, Buenos Aires.
- Katz, J. (1976), *Importación de tecnología, aprendizaje e industrialización dependiente*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Landau, R. y N. Rosenberg (1992), "Successful Commercialization in the Chemical Process Industries", en N. Rosenberg, R. Landau y D. C. Mowery (comps.), *Technology and the Wealth of Nations*, Stanford University Press, Stanford, pp. 73-119.
- Laredo, P. y M. Callon (1990), *L'impact des programmes communautaires sur le tissu scientifique et technique français*, La Documentation Française, París.
- Latour, B. (1991), "Le métier de directeur de recherche", en D. Vinck (comp.), *Gestion de la recherche*, De Boeck, Bruselas, pp. 499-520.
- Latour, B. (1987), *Science in Action*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Lundvall, B.-Å. (comp.) (1992), *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter Publishers, Londres.
- Moisan, F. (1991), "Nouveaux outils, nouvelles pratiques", en D. Vinck (comp.), *Gestion de la recherche*, De Boeck, Bruselas, pp. 309-338.
- Mowery, D. y N. Rosenberg (1989), *Technology and the Pursuit of Economic Growth (La tecnología y la búsqueda del crecimiento tecnológico)*, 1992, Ediciones Conacyt, México y Cambridge University Press, Cambridge.
- Nelson, R. R. (comp.) (1993), *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*, Oxford University Press, Nueva York.
- Pavitt, K. (1984), "Sectoral Patterns of Technical Change", *Research Policy*, 13(4), pp. 343-373.
- Pirela, A., R. Rengifo, R. Arvanitis y A. Mercado (1991), *Conducta empresarial y cultura tecnológica. Empresas y centros de investigación en Venezuela*, Serie "CENDES", Caracas.

- Pirela, A., R. Arvanitis, R. Rengifo y A. Mercado (1992), "Entrepreneurs et chercheurs face aux technologies industrielles: la production et le transfert de technologie au Venezuela", en H. Drouvot, M. Humbert, J. C. Neffa y J. Revel-Mouroz (comps.), *Innovations technologiques et mutations industrielles: Argentine, Brésil, Mexique, Venezuela*, Editions IHEAL, París, pp. 237-250.
- Pirela, A., R. Rengifo y R. Arvanitis (1991), "Vinculaciones universidad-empresa en Venezuela: fábula de amores platónicos y cicerones", *Acta Científica Venezolana* (42), pp. 239-246.
- Pirela, A., R. Rengifo, R. Arvanitis y A. Mercado (1993), "Technological Learning and Entrepreneurial Behaviour: A Taxonomy of the Chemical Industry in Venezuela", *Research Policy* 22(5-6), pp. 431-454.
- Vergragt, P., P. Groenewegen y K. F. Mulder (1992), "Industrial Technological Innovation: Interrelationships Between Technological, Economic and Sociological Analyses", en R. Coombs, P. Saviotti y V. Walsh (comps.), *Technological Change and Company Strategies: Economic and Sociological Perspectives*, Harcourt Brace Jovanovitch, Londres, pp. 226-247.
- Vergragt, P. J. (1988), "The Social Shaping of Industrial Innovations", *Social Studies of Science* 18(3), pp. 483-513.
- Vessuri, H. M. C. (1994), "Sociología de la ciencia: enfoques y orientaciones", en E. Martínez (comp.), *Ciencia, tecnología y desarrollo: interrelaciones teóricas y metodológicas*, Nueva Sociedad y UNU/CEPAL/UNESCO/CYTED, Caracas, pp. 51-89.
- Vessuri, H. M. C. (comp.) (1995), *La academia va al mercado. Relaciones de científico académicos con clientes externos*, Fondo editorial FINTEC, Caracas.
- Villavicencio, D. (1990), "La transferencia de tecnología: un problema de aprendizaje colectivo", *Argumentos* (UAM-X, México), (10-11, dic.) pp. 7-18.
- Villavicencio, D. y R. Arvanitis (1994), "Transferencia de tecnología y aprendizaje tecnológico: reflexiones basadas en trabajos empíricos", *El Trimestre Económico*.
- Waast, R. et al. (1992), *Questionnaire to Participants in the CEC/STD2 Programme (European and Southern Countries Research in Agriculture and Health)*, abril, 1993, ORSTOM, París.
- Walsh, V. (1984), "Invention and Innovation in the Chemical Industry: Demand-Pull on Discovery Push", *Research Policy* 13(4) pp. 211-234.