
La ciencia y sus culturas

Tema del número

Este número (168): La ciencia y sus culturas

Después de 30 años, la RICS vuelve a visitar el tema de las dimensiones sociales de la ciencia. En su número de 1970 dedicado a la "Sociología de la Ciencia", puso el acento en las condiciones sociales de la actividad científica en la perspectiva de una transición global de las sociedades tradicionales a las modernas. Era una época en que la ciencia y los científicos tenían prestigio. Parecía que los problemas del mundo estaban en proceso de solución bajo la égida de la ciencia, la racionalidad, el mercado, la democracia y los derechos humanos. Hoy, en un mundo marcado por la globalización, la privatización y una pérdida de fe en las viejas ideologías, hay una necesidad de repensar las visiones tradicionales de la ciencia. En el público en general como en los círculos políticos, las actitudes hacia la ciencia han cambiado. De igual modo lo han hecho las condiciones de la movilidad científica, la comunicación, la cooperación entre centros de investigación en distintos países y el financiamiento de la ciencia. Más sutilmente, la ciencia es influenciada constantemente por las culturas de los países en los que se la practica transformándose de maneras inesperadas. Estos son los asuntos que se exploran en este número de la RICS, tanto en términos generales como a la luz de un análisis detallado de ejemplos seleccionados.

Número anterior (167): El federalismo

Consejero editorial: Ronald Watts

Próximo número (169): Economic and Social Dimensions of Drug Trafficking

Consejeros editoriales: Michel Schiray, Christian Geffray, Guilhem Fabre

Nota biográfica

Hebe Vessuri es una antropóloga venezolana cuya obra se centra en los problemas del aprendizaje de la ciencia y la técnica en los países en desarrollo, preeminentemente en la institucionalización de las investigaciones científicas en América Latina durante el siglo XX. Ha ejercido la actividad docente en universidades de Argentina, Brasil, Canadá y Venezuela y se ha dedicado a la investigación en distintos organismos nacionales e internacionales. Dirección: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Carretera Panamericana, Km 11, Caracas, Venezuela. Dirección electrónica: hvessuri@reacciun.ve.*

Introducción: La ciencia y sus culturas

Hebe Vessuri

La *Revista Internacional de Ciencias Sociales* vuelve a abordar después de treinta años la cuestión de las dimensiones sociales de la ciencia. En el número de 1970 dedicado a *La sociología de la ciencia*, los articulistas pusieron de relieve las condiciones sociales de la labor científica. Adoptaron un punto de vista comparado para estudiar la constitución de los equipos de profesionales de los laboratorios, las organizaciones estructuradas por disciplinas, los planes nacionales e institutos de investigaciones científicas y las redes de comunicación entre científicos. Aplicaron un criterio de interpretación basado en las normas y tendencias seguidas por los valores sociales en la transición de las sociedades tradicionales a las modernas.

En su introducción a ese número, Ben-David analizaba la evolución del estudio social de la ciencia remontándose a principios de los años veinte y la explicaba en virtud de la transformación de las necesidades sociales. Tanto su perspectiva como la del número de la *Revista* en su conjunto muestran una visión de las funciones sociales de la ciencia, y del ambiente en torno a ella, que era característica de un amplio sector de la comunidad intelectual del Occidente de posguerra. La investigación se había transformado en un instrumento importante para la tecnología militar e industrial. Ya no era necesario convencer a los Estados ni a las grandes industrias de la relevancia que tenía la ciencia para ellos: la cuestión era cómo fomentarla y utilizarla para sus propios fines. En los Estados Unidos y otros países se crearon organismos públicos para apoyarla y promoverla. Los problemas relativos a los recursos humanos y financieros de la ciencia habían cobrado tanta importancia como su organización. Era una época en la que la ciencia y los científicos gozaban de prestigio.

Los años de progreso que presenciaron la posguerra fueron en más de un sentido la culminación del proceso de "modernización" iniciado a mediados del siglo XIX, mediante el cual toda una miscelánea de culturas dio paso al *mundo feliz* común de la modernidad, concebido como un continuo único y homogéneo. Se aceptó que las inquietudes sociales y filosóficas tenían una influencia y unas repercusiones indirectas y que la ciencia las limitaba intrínsecamente. Al mismo tiempo, se descartaron en gran medida las tentativas de explicar la expansión del conocimiento

científico como respuesta a las necesidades tecnológicas y, en última instancia, socioeconómicas; aunque al final la discusión decayó hasta afirmar sencillamente que la relación no era ni simple ni directa. Así pues, las publicaciones de principios de los años setenta sobre el estudio social de la ciencia mostraban una considerable falta de interés por explicar las disciplinas y teorías científicas atendiendo a las condiciones sociales. Lo que se admitía hace treinta años era la posibilidad de estudiar las condiciones institucionales que alentaban a los científicos a concienciarse de los problemas tecnológicos, lo que facilitaba la adopción y desarrollo de campos "híbridos" que surgían al margen de la ciencia y la técnica.

No es de extrañar que, con la creciente incorporación de la ciencia a la administración pública y a la industria, la sociología de la ciencia de un país como los Estados Unidos se vinculara mucho más estrechamente a la teoría sociológica instrumental a la investigación en general, y que los investigadores estuvieran cada vez más dispensados de hacer contribuciones de naturaleza crítica a las cuestiones científicas más generales. Así, aunque a principios de los años setenta la ciencia se concebía como la actividad de un grupo humano ("la comunidad científica", o más bien "comunidades" especializadas por disciplinas), Ben-David podía decir que ese grupo estaba "tan totalmente aislado del mundo exterior que a efectos prácticos no hay por qué tomar en consideración la idiosincrasia de las distintas sociedades en las que viven y trabajan los científicos" (Ben-David 1970, pág. 17).

Cuando el problema era el lugar que ocupaba la ciencia en la transición de las sociedades tradicionales a modernas, se consideraba que las diferencias de normas y valores eran ingentes y claramente identificables. Mientras que la introducción de la ciencia en países como Japón, China o la India -ajenos al escenario tradicional constituido por Europa Occidental y los Estados Unidos- los revelaba como zonas prometedoras para las investigaciones sociológicas, en términos más generales las circunstancias nacionales parecían todavía bastante intrascendentes para la ciencia (cf. Storer 1970). No obstante, en los últimos años, el enfoque comparado de la tríada clásica de civilizaciones no occidentales con ricas tradiciones científicas propias, se ha ampliado para dar cabida prácticamente a todas las sociedades del mundo.

En consecuencia, se ha ampliado nuestro concepto de la difusión de la ciencia, pero también nuestro concepto de la ciencia en los países occidentales desarrollados. Ahora es mucho más frecuente hacer hincapié en la permeabilidad de la ciencia al mundo exterior a través del "mercado", ofertas de financiación, demandas de la sociedad civil o, más concretamente, de sociedades anónimas o limitadas, del gobierno, de clientes particulares, etc. Lejos de estar aislada, la ciencia ha llegado a percibirse como íntimamente entrelazada con la estructura económica, política y social. Esto ha supuesto tener que reconocer toda una nueva serie de limitaciones y de posibilidades. En el último cuarto del siglo XX se ha producido una eclosión de estudios institucionales de la actividad científica en distintos países, lo que ha obligado a dilucidar sobre la articulación cada vez más compleja entre los científicos consagrados y las necesidades e intereses sociales. Nunca se había impulsado tanto la política científica nacional e internacional, ni se había producido un aumento tal de las investigaciones sociales encaminadas a evaluar la producción científica y la elaboración de indicadores sobre la ciencia, la técnica y las innovaciones, todo ello en términos relativos dentro de una mundialización creciente.

Actualmente, resulta evidente que se dan todos los indicios de que la ciencia y la técnica van a afrontar nuevos retos de importancia en un futuro próximo, esta vez de carácter mundial. En

particular, sufrirán los problemas globales las culturas con disciplinas científicas que consideran que la gestión de los derivados indirectos de la técnica es ajena a la propia actividad científica, máxime si la técnica en cuestión da paso a aplicaciones o costumbres no sostenibles. Cuando se trata de problemas mundiales causados por una tecnología científica no sostenible, no se encuentran respuestas fáciles (cf. Strand 2000). Entre las nuevas circunstancias, una de las más llamativas es la noción de límite: establecer una frontera al progreso de la ciencia; pero esta vez mediante nuevas formas de control social (Salomon, en este número).

En otros tiempos, ese mecanismo de control estaba reservado exclusivamente a las discusiones internas en el ámbito estricto de los propios científicos. En la situación actual, las crecientes incertidumbres y preocupaciones por la utilización que se hace de la ciencia y la técnica y sus repercusiones sacan a la palestra la trascendencia social de la ciencia como método, recomendación, prueba, resultado y esperanza, así como las limitaciones del control democrático tal como está establecido actualmente. Resulta obvio que se puede hacer algo para dar una mejor expresión y solución a las incertidumbres, los prejuicios y el desconocimiento existentes con respecto a la ciencia. Hay un desafío social y ético al que se enfrentan las democracias contemporáneas, que precisan de innovaciones sociales para impulsar un control más eficaz de la técnica. Las implicaciones de esta transformación son trascendentes, puesto que dan paso a una economía ética de la ciencia donde la ciencia y la técnica tendrían un compromiso moral de forjar en el futuro una sociedad mejor (Daston 1995).

La creciente interconexión a escala mundial del orden social con el natural, así como la complejidad cada vez mayor de las sociedades y su impacto en la biosfera, no sólo hacen el futuro más incierto e impredecible sino que apremian a realizar un esfuerzo que integre las disciplinas sociales y naturales, con objeto de dar soluciones a los problemas que son inherentemente complicados y cuya complejidad se exagera en distintos ámbitos (Gallopin *et al.*, en este número). Es preciso que el análisis del riesgo de los cambios medioambientales, de los peligros para la salud y las amenazas nucleares tenga en consideración tanto la complejidad de la realidad física, como la que se halla implícita en las distintas epistemologías y en los diversos objetivos de los múltiples intereses en juego. Por primera vez, la sociedad humana en su conjunto tiene que plantar cara al fantasma de la falta de control inherente a los resultados que produzca en su momento la práctica científica.

Por ejemplo, la climatología y la política de las altas esferas están estrechamente ligadas. Las cuestiones relativas al cambio climático se han desplazado al centro de la política transcendental, tanto nacional como internacional. La labor científica ha desempeñado un papel extraordinario al legitimar la actividad política en marcha y acelerar su ritmo. Podría decirse que los modelos climáticos de la Tierra constituyen el instrumento más importante de la climatología mundial, pero hay ambigüedades fundamentales en la relación entre esos modelos y los datos existentes, que deberían explicarse formulando las razones por las que no son errores subsanables con una mejor observación, sino más bien rasgos fundamentales de una ciencia basada en modelos climáticos a escala mundial. Una mejor comprensión de las múltiples formas de la incertidumbre puede contribuir a construir una relación más equilibrada entre la información crítica que puede proporcionar la ciencia para apoyar las decisiones políticas, por una parte, y la elección de los valores que la ciencia no puede hacer sola, por otra (Edwards 1999).

Han transcurrido treinta años desde que Diana Crane estudiara el carácter de la comunicación científica y su influencia (Crane 1970). Estaba interesada, junto con otros sociólogos, en los modelos teóricos que explicarían los nuevos aspectos de la comunicación científica como consecuencia del aumento de velocidad observado en el sistema. Así pues, indagó en la estructura de la comunicación científica, la utilización que hacen los científicos de este tipo de publicaciones, el efecto que produce la circulación de carácter informal de información científica, así como las relaciones sociales entre investigadores dedicados a las mismas áreas.

Desde entonces, el sistema de comunicación de los investigadores se ha sometido a una reestructuración radical, con los cambios acaecidos a causa de la incipiente tecnología de la información. La velocidad, la flexibilidad y el alcance de la comunicación informática han tenido enormes repercusiones en la práctica científica (Russell, en este número). Surgen ahora nuevas cuestiones fundamentales, que antes eran impensables, sobre la información especializada que se genera, se transmite y a la que se tiene acceso. Los derechos de autor y la protección de los documentos científicos son temas de frecuente debate. El corpus de todas las obras científicas publicadas constituye una especie de memoria colectiva que se va puliendo y ampliando continuamente, siempre a condición de que continúe existiendo y sea total y fácilmente accesible. En la medida en que el almacenamiento del material científico en soporte electrónico crea un archivo que es inestable, irrecuperable o está oculto, la ciencia padece un género de demencia colectiva (Davidoff 2000). Es preciso revisar los derechos de propiedad intelectual. ¿A quién pertenecerán estos "frágiles" documentos? ¿Quién asumirá la responsabilidad de conservar el patrimonio científico mundial en soporte digital? ¿Qué repercusiones tendrá la creciente colaboración en el quehacer científico, que traspasa los límites institucionales, políticos, culturales y geográficos? ¿Pondrá todo ello fin a la marginación que sufren los científicos? ¿Qué consecuencias tendrán para los países en desarrollo las nuevas formas de interconexión informática mundial? ¿Se transformará el mundo en un lugar con una distribución más equitativa o, por el contrario, contribuirá la dinámica del mercado internacional de talentos a una desigualdad aún mayor?

En términos generales, las investigaciones se concentran principalmente en los países occidentales avanzados. Los demás, con excepción del Japón, participan cada vez más, especialmente en acuerdos de colaboración, pero todavía en una situación predominante de dependencia. Está por verse si la actual mundialización de la ciencia conducirá a una mayor homogeneización de las características y procedimientos de las investigaciones o si el trabajo en cooperación acentuará las diferencias entre los países.

La actual emigración de talentos es multilateral y policéntrica, aunque no totalmente multidireccional, pues parece que los flujos se dirigen siempre desde los lugares menos desarrollados del mundo a los más competitivos. La situación se ha comparado a un juego estratégico en el que una de las partes trata de endosar a otra el coste de los movimientos migratorios, obteniendo del nivel más bajo la aportación necesaria para cubrir su propia carencia de talentos dejada por los emigrantes (Meyer *et al.*, en este número). Se han producido resultados positivos tanto para los países anfitriones como para los de origen en algunos países en desarrollo, por ejemplo, en las nuevas naciones industriales del Asia Sudoriental, que han tenido una transición rápida del "aprendizaje por la práctica" al "aprendizaje por la investigación" (Kim, en este número). Sin embargo, las vicisitudes del entorno económico internacional pueden dificultar que otros países en desarrollo emulen estas experiencias. En el último lugar se

encuentran aquellos países donde las instituciones intelectuales y las industrias son tan débiles y exiguas que prácticamente no pueden retener a las personas de talento, cuya emigración, motivada por esas condiciones, contribuye a agudizar las desigualdades entre las naciones y dentro de ellas.

La difusión de la ciencia occidental en todo el mundo ha hecho de las instituciones científicas de los países más avanzados un modelo de referencia. La presencia de estas instituciones científicas de tipo occidental en distintos países se ha aceptado comúnmente como indicio de modernidad; sin embargo, las combinaciones particulares y las síntesis de organización atestiguan la riqueza de los ámbitos sociales y culturales en los que se ha desarrollado la ciencia (Vessuri 1994). La India es un ejemplo admirable de ello. En el rico y complicado proceso de formación de la comunidad científica india durante el largo forcejeo mantenido para desprenderse de las ataduras coloniales, la ciencia académica disfrutó de una posición de gran consideración, respeto y compromiso con el progreso del saber. Lo que se conoce como comunidad científica india surgió en los primeros decenios del siglo XX en los campos de la biología, la física, la química, las matemáticas y la astronomía, simultáneamente con la ciencia colonial y con una identidad propia en el panorama internacional (Krishna, en este número; Rahman 1970). No obstante, la alianza político-científica que se estableció con posterioridad a la independencia favoreció una estructura científica pública en la que el Estado controlaba la financiación y orientación de las investigaciones. La auténtica ampliación de la infraestructura científica y tecnológica se produjo en los organismos científicos concebidos con criterios funcionales, en menoscabo de la ciencia académica del medio universitario. El declive de la ciencia académica ha conducido al de la enseñanza científica, que se ha visto agravado por la creciente fuga de cerebros entre las personas más cualificadas y una supeditación nacional cada vez mayor de la actividad universitaria a las relaciones contractuales con sociedades mercantiles y empresas.

En los últimos decenios, la disyuntiva entre la ciencia académica y la funcional ha sido endémica en todo el mundo. Las exigencias de quienes financian la actividad de investigación la han transformado considerablemente, y su naturaleza, la organización del trabajo y la responsabilidad social han tomado nuevos derroteros. Así pues, el aspecto financiero ha adquirido un cariz cada vez más importante, debido a las crecientes expectativas en torno a los resultados de la dedicación a la ciencia. Mullin desarrolla en este número el argumento de que las modificaciones que se han producido en las exigencias se reflejan en la cuantía y especialmente en la distribución de los fondos para la investigación, en particular, en las ciencias naturales y la ingeniería. Su punto de partida es el periodo comprendido entre los años sesenta y setenta, en los que prevaleció la idea de la "República de la Ciencia", con la modalidad financiera preferida que llevaba aparejada: las becas de investigación con criterios estrictos. Esto lo compara con "los modos de producción del conocimiento" más recientes ("Modo 2" en terminología de Gibbons *et al.*), en los que los contratos de investigación son más frecuentes que las becas. En sus estudios monográficos sobre el Canadá, Sudáfrica y Chile, Mullin halla indicios de que en las últimas décadas se han mantenido las ayudas estatales a los investigadores dedicados a la cultura académica tradicional, y de que se ha producido incluso un ligero aumento de las ayudas públicas a las ciencias básicas, mientras que el grado de apoyo que han recibido las investigaciones contractuales o circunscritas a un ámbito de aplicación se ha incrementado considerablemente.

En los últimos años la colaboración internacional ha alcanzado cotas inéditas. Concretamente, la comunicación entre los países avanzados y los países en desarrollo se ha modificado de forma

notoria y continua. ¿Cómo han organizado y estructurado estos últimos sus respuestas ante el polimorfismo y omnipresencia de aquéllos? ¿Cómo se han hecho valer con relación al patrimonio cultural de la ciencia y la técnica modernas, a la evolución social y a los intereses económicos concretos? Las asociaciones y acuerdos de cooperación propuestas por los países industriales avanzados ¿han sentado las bases de una auténtica participación en condiciones de igualdad, o son una estratagema para obtener ventajas unilaterales? (Shinn *et al.* 1997).

El componente cognoscitivo de la interacción del Sur con el Norte ha cobrado una importancia creciente, principalmente en el Sur, aunque ambos interlocutores -el país avanzado y el que está en vías de desarrollo- valoran su respectiva acción y reacción de una forma nueva. Hay análisis exhaustivos de carácter empírico sobre el intercambio científico entre el Sur y el Norte que permiten percibir algunos de los aspectos más profundos de las transacciones en curso y sus consecuencias. Un programa de cooperación en enseñanza superior e investigaciones entre Francia y Venezuela, vinculado a la elaboración de una disciplina científica en el campo de la catálisis en este último país, revela los distintos enfoques, contenidos y ámbitos de influencia que interesan a las partes, así como la madurez y creciente capacidad de expresar sus necesidades e intereses (Arvanitis y Vessuri, en este número).

En el siglo XX, la aparición de ciencias nuevas, con sus formas peculiares de organización, ha cobrado gran importancia. Un destacado ejemplo de ello es la biología molecular. En la segunda mitad del siglo se constituyeron en ámbito fundamental de innovación científica y tecnológica con un ritmo de progreso, particularmente en la tecnología genética, que indica a todas luces que dará paso a oportunidades tecnológicas y problemas medioambientales y humanos nuevos en el próximo siglo. En este terreno, como en el de las ciencias y las técnicas de la información y la comunicación, la alianza entre lo cognoscitivo y lo social entra en el nuevo sistema de organización, a través de los vínculos cada vez más estrechos establecidos entre la universidad y la industria.

Tres países han contribuido decisivamente a constituir la biología molecular en ciencia: Gran Bretaña, los Estados Unidos y Francia. En cada uno de ellos se han producido unas combinaciones determinadas del carácter cultural de su política científica, de la tradición de "intelectuales públicos" y de la intersección de culturas sociales y materiales en los principales laboratorios e instituciones de investigación. Estas combinaciones han fomentado ideas originales y condiciones de trabajo favorables al nuevo campo de integración de las distintas disciplinas (Abir-Am, en este número). La expansión y consolidación de la biología molecular más allá de sus países de origen y la creación de un foro internacional y multicultural como es el EMBL (Laboratorio Europeo de Biología Molecular, en sus siglas en inglés) en el último cuarto del siglo, con el que Abir-Am termina su artículo incluido en este número, repercute en el análisis que hace Santesmases (también en este número) de la implantación de esta disciplina en un país de Europa Occidental científicamente marginal: España. La figura preeminente del científico expatriado Severo Ochoa representó al "intelectual público" para los bioquímicos y biólogos moleculares españoles, quienes, en una coyuntura política favorable, adoptaron una estrategia de neófitos en un intento de reincorporar España a Europa Occidental tras el aislamiento de los años cuarenta. La comunidad científica española y sus dirigentes políticos tenían una dependencia doble, científica y técnica, de los países avanzados, lo que contribuyó a hacer difícil la incorporación de los investigadores españoles a esa corriente.

Los primeros años setenta resultan un periodo a la vez cercano y remoto. Entonces pareció que por fin se había resuelto el problema de constituir un mundo común, unido bajo la égida de la ciencia, la racionalidad, el mercado, la democracia, la humanidad y los derechos humanos. En aquel momento, era difícil imaginar que hoy estaríamos inmersos en un torbellino de incertidumbre, irracionalidad, culpabilidad, resentimiento y fragmentación (Latour 2000). En un mundo caracterizado por la mundialización, con sus nuevos desafíos y limitaciones, este grupo de autores manifiesta su deseo de reconsiderar algunos rasgos tradicionales de la ciencia, como son la comunicación y la movilidad científicas, la ciencia académica, la financiación de las investigaciones y la colaboración en este campo, así como de explorar nuevas vías. Como lo expresa Salomon, los cambios son de tal magnitud que cabría preguntarse si nos estamos refiriendo a los mismos fenómenos. Uno de los grandes desafíos que se nos presentan es reconocer y comprender la interacción existente entre las múltiples culturas. La ciencia, como producto cultural en sí misma, es una parte integrante fundamental del caleidoscopio multicultural y está en constante e imprevisible transformación.

Traducido del inglés

Notas

* La Redacción agradece a la profesora Vessuri su inestimable colaboración como ayudante de redacción de este número de la *Revista Internacional de Ciencias Sociales*.

** Véase el Vol. XXII, Nº 1 (marzo 1970), *Sociology of Science*. Además de este número de la *Revista*, los siguientes incluyen temas relacionados con la ciencia y la tecnología: Vol. XII, Nº 3 (septiembre 1960), *Technical Change and Political Decision*, Vol. XVII, Nº 3, (septiembre 1966), *Science and Technology as Development Factors*, Vol. XXV, Nº 3, (septiembre 1973), *The Social Assessment of Technology*, Vol. XXVI, Nº 4 (diciembre 1974), *The Sciences of Life and of Society*, Vol. XXVIII, Nº 1 (marzo 1976), *Science in Policy and Policy for Science*, Vol. XXXIII, Nº 3, (septiembre 1981), *Technology and Cultural Values*, Vol. XLV, Nº 1 (marzo 1993), *Innovation*.

Referencias

- BEN-DAVID, J. 1970. "Introduction". *International Social Science Journal*, Vol. XXII, 1: 7-27.
- CRANE, D. 1970. "The nature of scientific communication and influence". *International Social Science Journal*, Vol. XXII, 1: 28-41.
- DASTON, L. 1995. "The moral economy of science". En A. Thackray (comp.) *Constructing Knowledge in the History of Science*, *Osiris*, Vol. 10: 3-24.
- DAVIDOFF, F. 2000. "The other two cultures. How research and publishing can move forward together". En A.H. Jones, F. McLellan (comps.) *Ethical Issues in Biomedical Publications*. Baltimore, Johns Hopkins University Press, pág. 323-344.
- EDWARDS, P. N. 1999. "Global climate science, uncertainty and politics: data-laden models, model-filtered data". *Science as Culture*, Vol. 8, 4:437-472.
- GIBBONS, M., C. LIMOGES, H. NOWOTNY, S. SCHWARTZMAN, P. SCOTT y M. TROW. 1994. *The New Production of Knowledge*. London, Sage.

- LATOUR, B. 2000. "Guerre des mondes - offres de paix". Texto inédito preparado para el coloquio de Cerisy *Guerre et paix des cultures*.
- RAHMAN, A. 1970. "Scientists in India: the impact of economic policies and support in historical and social perspective". *International Social Science Journal*, Vol. XXII: 1: 54-79.
- SHINN, T., J. SPAAPEN y V. V. KRISHNA. 1997. "Science, Technology and Society Studies and Development Perspectives in South-North Transactions". En T. Shinn, J. Spaapen & V. Krishna (comps.), *Science and Technology in a Developing World*. Dordrecht, Boston, Londres, Kluwer Academic Publishers. *Sociology of the Sciences Yearbook 1995*, págs. 1-34.
- STORER, N. W. 1970. "The internationality of science and the nationality of scientists". *International Social Science Journal*, Vol. XXII: 1: 80-93.
- STRAND, R. 2000. "Naivety in the molecular life sciences". *Futures*, 32: 451-470.
- VESSURI, H. 1994. "The institutionalization process". En: J-J Salomon, F.R. Sagasti & C. Sachs-Jeantet (comps.) *The Uncertain Quest. Science, Technology, and Development*. Tokio, Universidad de las Naciones Unidas, págs. 168-200.

Nota biográfica

*Pnina G. Abir-Am es profesora en visita de la NSF (National Science Foundation) en la Universidad de California, Berkeley. Email: pgabiram@socrates.berkeley.edu. También coordina un proyecto sobre la divulgación de la ciencia utilizando técnicas teatrales, en colaboración con el Departamento de Pedagogía de la Ciencia, de la Universidad Hebrea de Jerusalén. Su publicación más reciente es *Commemorative Practices in Science: Historical Perspectives on the Politics of Collective Memory*, Clark Elliott, 1999.*

La biología molecular en el contexto de las culturas del Reino Unido, Francia y Estados Unidos

Pnina Geraldine Abir-Am*

Introducción

La biología molecular, o estudio de los problemas biológicos a nivel macro/molecular (por oposición a otros niveles de orden biológico, como el orgánico o el celular) es una ciencia fundamental del siglo XX. Como megadisciplina nueva, integradora, interdisciplinaria e internacional, con un impacto sobre la sociedad de gran alcance y en continuo crecimiento, la biología molecular se ha desarrollado históricamente en tres grandes etapas, cada una de ellas bajo la influencia fundamental de una de las ciencias exactas: la química, la física y las matemáticas (Abir-Am 1992/3,1997; Morange 1998; De Chadarevian y Kamminga (eds.) 1998).

Durante el primer tercio del siglo XX y, en cierta medida, hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, la química fue la disciplina que más influyó en la biología molecular. A la vez poderosa y temida debido a los resultados de su notable rendimiento durante la Primera Guerra mundial en la producción industrial de municiones y alimentación a escala nacional, fundamentalmente en Gran Bretaña y Alemania, la química proporcionó a la biología una metodología de investigación que ya había demostrado su gran éxito en la química orgánica. También definió como hegemónica la problemática de la estructura, función y reacciones metabólicas de los compuestos biológicos, sobre todo las versátiles enzimas y otras proteínas (Holmes, 1991, 1993; Kornberg 1989; Kohler 1982; Fruton 1972). Esta etapa de la molecularización de la biología es más conocida como "bioquímica", término que fue favorecido en el Reino Unido. Variantes como "química fisiológica" o "química biológica" también fueron usadas respectivamente en Alemania y Estados Unidos. En Francia se utilizó ambas *biochimie* y *chimie biologique* (bioquímica y química biológica). El aislamiento de numerosas enzimas y el descubrimiento de vías del metabolismo intermedio fueron los logros más notables de esta etapa.

De manera similar, durante el segundo tercio del siglo XX, pero especialmente desde el final de la Segunda Guerra mundial hasta finales de los años sesenta, la física superó a la química como

fueron hegemónicas en la metodología de la investigación y en aspectos científicos problemáticos. Las tecnologías de la física, fundamentalmente la cristalografía de rayos X, transformaron la problemática de estructura-función, que se había centrado anteriormente en la versatilidad fisiológica y bioquímica de las proteínas, en una perspectiva centrada en la capacidad de los ácidos nucleicos de codificar la información biológica. El descubrimiento de la estructura del ADN a comienzos de los años cincuenta, el modelo operón de la regulación genética y el código genético a comienzos de los años sesenta, se encuentran entre los logros más notables de esta etapa.

Finalmente, en el último tercio del siglo XX, especialmente después de la moratoria de investigación en ingeniería genética y biotecnología, declarada en la conferencia de Asilomar en 1975, la ciencia informática y las matemáticas aplicadas y la bioinformática superaron a la física en la definición de la frontera de la biología molecular. En esta etapa, que llega hasta la actualidad, la principal metodología de investigación se centró en las tecnologías de *software* y en las bases de datos automatizadas a gran escala. Se transformó la problemática informacional, que anteriormente se había centrado en la capacidad única de los ácidos nucleicos para codificar proteínas en una problemática estructural-funcional centrada en la solución del problema de la secuenciación del genoma completo de organismos modelo, incluyendo el ser humano, la secuenciación de genes y, más recientemente, la genómica estructural o el diseño predictivo de drogas basándose en la forma de las proteínas. Al mismo tiempo, se fundó en la genómica funcional que había constituido la fase inicial del proyecto Genoma Humano y que había alcanzado un "borrador final" a mediados de 2000. El descubrimiento de genes de diversas enfermedades hereditarias en los años ochenta y noventa y la producción de fármacos de ingeniería genética como la insulina, se cuentan entre los logros más notables de esta etapa, más conocida como biología molecular aplicada, o como biotecnología (Kevles y Hood (eds.)1992; Wright 1994; Rabinow 1999).

Una vez definidas estas etapas en el desarrollo de la biología molecular, la pregunta sigue siendo qué papel (si lo hubo) desempeñó la cultura nacional en el auge de la biología molecular, desde los proyectos marginales de investigación en los años treinta al estatus de disciplina de primer orden en el siglo XXI. La investigación historiográfica desde mediados de los años ochenta sostiene que tres países desempeñaron un papel fundamental en el auge de la biología molecular, y que cada país actuó como vanguardia científica en diferentes decenios. El Reino Unido apoyó los primeros pasos de la biología molecular en los años treinta; Estados Unidos se integró con nuevos programas de investigación en los años cuarenta y Francia surgió en los años cincuenta como la síntesis teórica de las contribuciones fundamentalmente estructurales de los británicos y del esfuerzo de Estados Unidos, sobre todo en el campo de la información (Abir-Am 1992, sobre la etapa del Reino Unido; Abir-Am 1998, sobre la etapa de Estados Unidos; Abir-Am 1999 y Morange y 1998, sobre la etapa de Francia, incluye comparaciones con la etapa de Estados Unidos).

Este artículo analiza como cada cultura nacional influyó en el auge de la biología molecular. El impacto de la cultura nacional en esta nueva disciplina estuvo mediatizado en cada país por las escuelas de investigación o por formaciones sociales transitorias que funcionaban en torno a conocidos científicos que llegaron a encarnar tanto el legado científico de cada escuela como los valores de la cultura nacional en que había surgido esa determinada escuela. (Abir-Am 1992/3, 1997, 1999). Estas escuelas de investigación inicialmente llevaron a cabo estrategias de

investigación innovadoras pero marginales en los límites de la ciencia disciplinaria establecida, si bien con el tiempo fueron capaces de integrarse a tendencias interdisciplinarias favorables de la política científica, tanto antes como después de la Segunda Guerra Mundial y, con el tiempo, alcanzaron un lugar destacado en sus respectivas comunidades científicas nacionales.

Por ejemplo, reflexionemos sobre el papel de la cultura británica en los comienzos de la biología molecular en el Reino Unido en los años treinta. Queremos explicar por qué la cultura de Estados Unidos estaba especialmente dispuesta a apoyar nuevas disciplinas como la biología molecular en los años cuarenta. Y destacamos el papel de la cultura francesa, que allanó el camino a logros excepcionales en biología molecular en Francia en los años cincuenta. También analizamos si estos períodos específicos de influencia de una cultura nacional en la biología molecular aún son posibles en el contexto de una profunda mundialización a partir de los años noventa.

También surge la pregunta de si la influencia de una cultura nacional en una ciencia nueva proviene fundamentalmente de su cultura política o si también emana de la cultura, o más bien subcultura, de intelectuales, especialmente los intelectuales públicos. Si así es, ¿cómo se definen los intelectuales públicos en general y los científicos, especialmente los biólogos moleculares, en estos tres países en cuestiones de asuntos públicos clave en el siglo XX? Ejemplos de estos problemas son el auge del comunismo de Estado en los años veinte, el surgimiento del fascismo de Estado en los años treinta, la gran migración intelectual desde los años treinta; la Segunda Guerra Mundial, la Guerra Fría, especialmente los años cincuenta; los movimientos de liberación raciales y de género en los años sesenta; las revueltas de estudiantes y obreros en mayo del '68; el auge del Tercer Mundo hasta alcanzar un protagonismo internacional de primer rango, especialmente con la guerra de Vietnam y la revolución cultural en China; y, finalmente, la mundialización aún en curso.

Además del impacto de la cultura política, la cultura institucional de la ciencia en cada uno de estos países influyó en la formación de los futuros dirigentes y miembros de las escuelas de investigación en biología molecular. En el Reino Unido, la cultura distintiva de las antiguas universidades, y de escuelas y laboratorios específicos en dichas universidades, tuvieron una influencia decisiva en los fundadores de la biología molecular. En Francia, o mejor dicho, en París, las culturas contrastantes de los *sorbonnards* y los *pasteuriens* se entrecruzaron en el auge de la biología molecular. En Estados Unidos, las culturas regionales desempeñaron un cierto papel, especialmente las instituciones que reflejaban especificidades regionales, como las regiones del Atlántico, el Medio oeste y el Pacífico.

Ciertos descubrimientos parecen haber dependido de un contexto cultural específico en el sentido de que no era probable que se produjeran en otra parte, por ejemplo, la solución de las primeras estructuras de proteínas mediante la cristalografía de rayos X en Gran Bretaña, el descubrimiento de la lisogenia en Francia y la decodificación bioquímica del código genético en Estados Unidos. Por el contrario, otros descubrimientos parecen haber requerido un contexto transnacional y, por ende transcultural. También debe explicarse la interacción de las culturas del Reino Unido, Francia y Estados Unidos en la construcción de grandes descubrimientos en biología molecular. Así, la doble hélice fue una colaboración de británicos y estadounidenses; el experimento *pa-ja-ama* y la teoría del alostérico es producto de la colaboración de franceses y estadounidenses, mientras que el descubrimiento del ARN mensajero fue fruto de una colaboración entre franceses, británicos y estadounidenses.

La cultura del Reino Unido y el auge de la biología molecular en los años treinta

El papel pionero de la cultura británica como catalizadora del auge de la biología molecular en los años treinta tenía tres aspectos: (a) *el político*, o el hecho de que un gobierno de unidad nacional a comienzos de los años treinta señalara un espectro considerable de nuevas opciones políticas; (b) *el ideológico*, o el hecho de que los científicos desempeñaran un papel importante al adoptar posiciones socialistas, comunistas y antifascistas, con lo cual adquirieron la autoridad cultural de los intelectuales públicos; (c) *el institucional*, o el hecho de que los principales laboratorios que gozaban de reputación internacional, sobre todo el Instituto Cavendish en física, el Instituto Dunn en bioquímica, y el Instituto Molteno en biología y parasitología, todos de la Universidad de Cambridge; así como laboratorios más pequeños en otras universidades, fundamentalmente en Leeds y Oxford, atrayeran y luego acogieran a la vez a destacados futuros biólogos moleculares y a las inversiones de las instituciones filantrópicas de Estados Unidos.

La cultura política y la política científica en las postrimerías del imperio británico

La política cultural en el Reino Unido en los años treinta demostró ser una fuente de inspiración para los científicos innovadores en biología molecular, puesto que proporcionó una atmósfera propicia a la búsqueda de soluciones a los problemas sociales, económicos y científicos. La crisis económica de 1929, que condujo a la Depresión, trajo consigo el colapso del patrón oro, las marchas del hambre, el "malestar social" y la caída del segundo gobierno laborista. Se estableció un gobierno de unidad nacional que señaló la aparición de nuevas oportunidades en la vida social y política en un país que también funcionaba como la cabeza de un gran imperio. A pesar de las grandes pérdidas en vidas humanas durante la Primera Guerra Mundial, el Reino Unido surgió como el principal vencedor, sobre todo porque su territorio no había sufrido la destrucción y porque su imperio siguió creciendo con las posesiones coloniales de los países vencidos. Esta ventajosa posición se vio magnificada por el hecho de que Estados Unidos, que surgió de la Primera Guerra mundial como el principal acreedor, se abstuvo de ejercer un papel activo en Europa debido a su ideología aislacionista.

Sin embargo, con el auge del fascismo en Europa central y, posteriormente, en España, no tardó en producirse un viraje de la atención política hacia los asuntos externos y los problemas del rearme. Una vez más, se debatió un amplio espectro político de opciones, desde la acogida de los refugiados de Europa central, a la participación en la guerra civil española y las crisis abiertas en la política exterior, fundamentalmente la conferencia de Munich en noviembre de 1938. Durante este decenio políticamente cargado, la cultura política osciló entre la pacificación y el rearme, a la vez que proyectaba la gravedad de la situación política en todos los países. Estas causas globales movilizaron a una gran parte de la población, y los científicos fueron especialmente activos al contribuir con lo suyo en el campo de la defensa y la alimentación de la población civil.

Esta viva cultura política, tan receptiva a la participación de diversos tipos de científicos concientizados políticamente, como queda bien ilustrado por la vida y carrera de J. Desmond Bernal, 1901-1971, el fundador de la escuela inglesa de biología molecular, así como destacado portavoz de organizaciones simpatizantes de o dirigidas por comunistas, como la Association of Scientific Workers (Hodgkin 1980; Abir-Am 1992; Swann y Apprahamian (eds.) 1999). Bernal

siguió su carrera en Cambridge y Londres. Después de licenciarse por la Universidad de Cambridge en 1923, vivió una parte decisiva de su carrera en aquella casa durante el período 1927-1937, como profesor y luego como presidente del Structural Crystallography Laboratory (trasladado de Mineralogía al laboratorio de Física del Instituto Cavendish). En Londres trabajó como ayudante de investigación de Sir William Henry Bragg (1860-1943) en la Royal Institution desde 1923 hasta 1927, y desde 1938 fue catedrático de física en el Birbeck College. Bernal emprendió estudios innovadores sobre la estructura de los compuestos biológicos, de los esteroides a las proteínas, los virus y los ácidos nucleicos, todos objetos clave de la investigación en biología molecular en Gran Bretaña (Abir-Am 1992).

Después de casi veinte años de innovadoras investigaciones en cristalografía de rayos X, instrumentación y biología molecular, Bernal volvió cada vez más su atención hacia los problemas sociales y políticos, con cierta inclinación por los proyectos utópicos, tanto en el terreno de la ciencia como de lo social. Su obra maestra, *The Social Function of Science*, publicada en enero de 1939, combinaba su inquietud de aquel entonces con el papel más destacado que la ciencia podía desempeñar en una sociedad dispuesta a beneficiarse de su capacidad para generar progreso social. En aquella época, en los días dramáticos que siguieron a las ponencias soviéticas en el II Congreso Internacional de Historia de la Ciencia, celebrado en Londres en 1931 (Abir-Am, 1985; Swann y Apprahamian 1999), Bernal creía que el marxismo era la única ideología social y política que reconocía el papel decisivo de la ciencia en la sociedad. Junto con otros científicos británicos de izquierda, viajó a menudo a la Unión Soviética, en aquel entonces considerado el único país que llevaba a la práctica la ideología marxista.

A comienzos de la Segunda Guerra mundial, el amplio horizonte de la cultura política en el Reino Unido permitió a Bernal, junto a otros colegas científicos de ideas similares, convertirse en consejeros científicos del Ministerio del Interior. Allí utilizó sus conocimientos, adquiridos inicialmente en el marco de un activismo en pro del rearme en nombre de la Association of Scientific Workers, para medir el impacto de los bombardeos en los edificios. En 1943, Bernal fue nombrado consejero científico del Jefe del Comando de Operaciones Conjuntas, Lord Mountbatten de Burma, y desempeñó un papel en la utilización de la ciencia para estudiar las playas de Normandía donde se proyectaba el desembarco aliado el Día-D, entre otras numerosas operaciones planeadas o ejecutadas durante la guerra (Swann y Apprahamian (eds.), 1999).

Solo a finales de los años cuarenta, el efecto combinado de la Guerra Fría y de la British Society for Freedom of Science, fundada por John Baker y Michael Polanyi, consiguieron aislar a Bernal e impedirle desempeñar un papel en el panorama de la ciencia en el Reino Unido. En aquel entonces, él y algunos colegas, fundamentalmente su antigua alumna y laureada con el premio Nobel, Dorothy Hodgkin, 1910-1994, llegaron a desempeñar un importante papel en el mantenimiento de los contactos científicos entre Este y Oeste, contactos concebidos como puente para la paz mundial, y que incluyeron numerosas visitas a la Unión Soviética (donde Bernal recibió el premio Lenin en 1953 y se convirtió en una figura próxima a Nikita Krushev), a China, Vietnam, pero también a Europa y Estados Unidos (donde las visas les fueron negadas a comienzos de los años cincuenta, si bien les fueron otorgadas para participar en congresos científicos en América del Norte).

La subcultura ideológica de los científicos como intelectuales públicos antifascistas

Otro aspecto de la cultura inglesa que influyó en el auge de campos interdisciplinarios como la biología molecular fue el papel de los científicos como intelectuales públicos antifascistas, sobre todo en el campo de la ayuda a científicos provenientes de la Alemania nazi. Incluso figuras conservadoras como Lord Rutheford, director del laboratorio Cavendish, presidieron el Aid Committee for the Defence of Learning. Esta posición estimuló aún más a los refugiados científicos a permanecer en el Reino Unido, incluyendo a futuros premios Nobel en la ciencia biomolecular como Hans Krebs y Max Perutz. Esto fue importante para el futuro de la biología molecular, puesto que después de que Bernal dejó la Universidad de Cambridge en 1938, y hasta 1947, cuando el MRC creó en el laboratorio Cavendish una pequeña unidad para la "estructura molecular de los compuestos biológicos", Perutz, un alumno austríaco dedicado a la investigación que se declaró refugiado en 1938 con la anexión de Austria, pero cuyo trabajo sobre la estructura de la hemoglobina o "pulmón molecular" se convirtió en uno de los paradigmas de la biología molecular, siguió siendo la única persona activa en biología molecular. El éxito de Perutz al conseguir que el profesor de Cavendish, Sir Lawrence Bragg, se interesara por su cristalografía de rayos X, aseguró el futuro de la biología molecular en Cambridge.

La cultura institucional de la ciencia en el Reino Unido en los años treinta

El clima favorable a la biología molecular en el Reino Unido en los años treinta también dependió de diversos laboratorios de renombre internacional, que atrajeron el talento, tanto local como extranjero, y recabaron el apoyo de instituciones privadas del Reino Unido y Estados Unidos. La nueva estrategia de inversión de la fundación Rockefeller desde su reorganización en el período 1928-1932 (Abir-Am 1982, 2000), puso de relieve no sólo la excelencia, como en los años veinte, sino fundamentalmente la transferencia de técnicas físico-químicas a la biología. A partir de entonces, los proyectos del Instituto Dunn de Bioquímica o del Instituto Molteno de Biología y Parasitología, ambos de la universidad de Cambridge, recibieron tratamiento de prioridad con las inversiones de la FR. Se otorgó una prioridad similar a los proyectos de investigación biomolecular de las universidades de Leeds y Oxford.

Esta infraestructura institucional facilitó el reclutamiento de ayudantes de investigación y la compra de nuevos equipos, con lo cual se produjo un crecimiento fluido de la fuerza laboral científica y de sus instrumentos de producción. Mientras el Instituto Dunn de Bioquímica recibía apoyo de las instituciones locales y de Estados Unidos, del MRC y de la Universidad, el Cavendish tenía el apoyo del DSIR y de la Universidad, así como de la industria, como el caso del I.C.I. De la misma manera, el Instituto Molteno de Biología contaba con el apoyo de instituciones locales y de Estados Unidos, así como de la universidad.

La subcultura científica de cada laboratorio demostró ser favorable al auge de la biología molecular, especialmente porque la perspectiva interdisciplinaria de directores como los premios Nobel Frederic Gowland Hopkins, PRS, del instituto Dunn desde la Primera Guerra mundial, Sir Lawrence Bragg, del Instituto Cavendish desde 1938 y David Keilin del Instituto Molteno, también desde la Primera Guerra mundial proporcionaron no sólo facilidades a los primeros biólogos moleculares del futuro en estos laboratorios durante los años treinta, sino también propiciaron la unión de sus capacidades para obtener el apoyo del gobierno en 1947. La cultura de caballeros que imperaba en aquel entonces era garantía de que una reunión en el Atheneum

Club entre Bragg (que actuaba respondiendo a la sugerencia de Keilin, que era miembro activo en numerosos comités de instituciones científicas y consejero de ministerios del gobierno) y Sir Edward Mellanby, secretario del MRC, fue suficiente para crear una nueva unidad.

A este acto siguieron, en una escala más amplia y con más trámites burocráticos, los respectivos sucesores, Max Perutz y Sir Harold Himsworth, que ampliaron la unidad de 1947 y la convirtieron en un gran laboratorio que sería conocido como el MRC Laboratory of Molecular Biology a lo largo de los años cincuenta. En 1962, la Reina inauguró este laboratorio poco antes de que tres de sus miembros, Perutz, John Kendrew (1916-1997) y Francis Crick (1917-) recibieran el premio Nobel, el primer premio otorgado por trabajos en biología molecular en la solución de las primeras estructuras de proteínas y ácidos nucleicos.

Los trabajos en biología molecular también comenzaron en los años treinta en la Universidad de Leeds en el laboratorio del físico William T. Astbury (1898-1961) especializado en cristalografía de rayos X y en microscópica electrónica de proteínas fibrosas y ácidos nucleicos; (Olby 1974; Abir Am 1982); en el laboratorio de la química Dorothy Crowfoot Hodgkin (1910-1994) en la universidad de Oxford, especialmente sobre proteínas y esteroides; así como en el Mathematical Institute de la Universidad de Oxford donde la matemática Dorothy Wrinch (1894-1976) desarrolló la primera teoría de la estructura de las proteínas, una teoría que centró los trabajos internacionales en biología molecular en los años treinta (Abir Am 1987a, b).

La amplitud de la cultura política del Reino Unido en los años treinta, la cultura ideológica de la movilización antifascista de los intelectuales públicos, entre ellos numerosos científicos, y las subculturas específicas de grandes laboratorios en bioquímica, física, biología, química y matemáticas, fueron factores clave para producir un contexto cultural que propiciara el auge de la biología molecular en el Reino Unido en los años treinta, así como una posición de liderazgo hasta comienzos de los años sesenta.

Con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, la investigación científica en biología molecular se vio gravemente limitada en el Reino Unido cuando Bernal, la principal figura en este campo, fue movilizado durante toda la guerra, mientras que su laboratorio en Birkbeck College fue bombardeado y destruido durante la batalla de Inglaterra. Sus alumnos, sus colegas de investigación y sus equipos fueron trasladados al laboratorio de Dorothy Hodgkin en la universidad de Oxford en un lugar apartado al abrigo de las hostilidades donde, no obstante, las exigencias de la guerra requerían que se dedicara la mayor parte del esfuerzo a la solución de la estructura de la penicilina. Este compuesto bioorgánico tuvo una gran relevancia médica y su solución se convirtió en un hito en la aceptación de la cristalografía de rayos X por parte de los químicos orgánicos, pero no incluyó los trabajos en el nivel macromolecular que habrían de convertirse en el gran hito de la biología molecular. Los trabajos relacionados con las proteínas y los virus se limitaron a terminar proyectos de antes de la guerra como una tesis doctoral sobre la estructura de la lactoglobulina, una de las proteínas antes analizadas por Bernal y su equipo a finales de los años treinta, y un artículo inconcluso sobre la estructura del virus del mosaico del tabaco, también iniciado por Bernal y su equipo a mediados de los años treinta (Abir-Am 1992).

Los trabajos sobre proteínas con cristalografía de rayos X en la Universidad de Cambridge también se vio limitado por la reclusión de Max Perutz como extranjero enemigo y por su posterior reclutamiento para el esfuerzo de guerra. El laboratorio de Bernal en Londres fue

reconstruido después de la guerra y volvió a abrir sus puertas en 1948. El laboratorio de Hodgkin creció moderada pero sostenidamente, mientras se inauguraban nuevas unidades para el estudio de las estructuras biomoleculares en King's College, Londres, y en el laboratorio Cavendish en Cambridge (estos dos últimos serían los protagonistas del descubrimiento de la estructura del ADN y de las primeras proteínas, trabajos por los que se otorgaron los primeros premios Nobel de biología molecular en 1962). Sin embargo, el crecimiento más rápido de la biología molecular en los años cuarenta se dio en Estados Unidos. El contexto de la cultura en Estados Unidos mantuvo formas de biología molecular diferentes de la cristalografía de rayos X de las proteínas de la que nació esta disciplina en el Reino Unido en los años treinta. Estas formas están vinculadas a la química cuántica por un lado y, por otro, a la genética de fagos.

La cultura en Estados Unidos y la biología molecular en los años cuarenta

De forma muy similar a como sucedió con el impacto de la cultura del Reino Unido en la biología molecular en los años treinta, la cultura de Estados Unidos en los años cuarenta se puede ver en tres dimensiones: la cultura política en general de una superpotencia emergente y su política científica resultante, incluyendo la creación de la National Science Foundation (NSF); la subcultura ideológica de los intelectuales públicos, entre ellos, especialmente los científicos; y la cultura institucional de la ciencia en una época de grandes reestructuraciones, debido al papel destacado de la ciencia en proyectos estratégicos y civiles durante y después de la guerra.

La cultura política y la política científica en Estados Unidos, primera superpotencia nuclear

Científicos de Estados Unidos como Irving Langmuir, Max Bergmann, Linus Pauling, Carl Niemann y David Harker participaron en los trabajos de biología molecular en los años treinta, especialmente al centrarse en la primera teoría de la estructura de las proteínas. Si bien coincidían con los científicos británicos en que la estructura de las proteínas era el problema más importante por resolver, algunos de los estadounidenses, especialmente Pauling y Niemann, no estaban de acuerdo con el enfoque de los británicos de realizar esto experimentalmente, el denominado "método directo" liderado por Bernal y su equipo, que pretendía solucionar todos los reflejos en los modelos de difracción de las proteínas obtenidas por cristalografía de rayos X. También mostraban su desacuerdo con el enfoque teórico y matemático sostenido por el matemático inglés Wrinch, que destacaba el papel de la simetría y la geometría en las soluciones estructurales. En su lugar, se inclinaban por un "método indirecto" basado en principios de la química cuántica para solucionar la estructura de los aminoácidos, unidad estructural de las proteínas, así como de los lazos entre ellos.

A pesar de que estos trabajos comenzaron a finales de los años treinta, se ampliaron considerablemente en los años cuarenta, debido al éxito que tuvo Pauling captando apoyo gubernamental, industrial y filantrópico a gran escala para las supuestas aplicaciones médicas de dichos trabajos, especialmente en el campo de los anticuerpos artificiales. A pesar de que este proyecto fue escasamente valorado por una comisión de expertos al final de la Segunda Guerra Mundial, sus recursos a gran escala permitieron a Pauling adelantar los trabajos sobre la estructura de las proteínas y, con el tiempo, descubrir a finales de los años cuarenta el hélice alfa, una estructura tridimensional observada en numerosas proteínas. El triunfo de Pauling, publicado en 1951, a la vez que reemplazaba a anteriores modelos de la estructura de las proteínas presentado en 1950 por el equipo inglés de Bragg, Perutz y Kendrew, señalaba la eficacia de la

cultura estadounidense en su apoyo a la ciencia innovadora en los años cuarenta, de una manera similar a la conquista a gran escala de las fronteras del oeste, tan típico de la cultura de Estados Unidos.

Ya sea durante la Segunda Guerra mundial, cuando la escala de las investigaciones sobre inmunología de Pauling se intensificó en el marco de un proyecto relacionado con la guerra, o ya sea después de la conflagración, cuando la incipiente Guerra Fría propició un apoyo a gran escala a la ciencia en Estados Unidos, que por entonces gozaba de su condición de primera y única superpotencia nuclear, la biología molecular se convirtió en uno de los grandes beneficiarios de la política científica de Estados Unidos. Pauling buscó y obtuvo fondos de investigación cercanos al millón de dólares. Reflejando la nueva posición de Estados Unidos como la vanguardia nuclear del mundo, esta política científica fue parte esencial de una cultura política que veía en la estrategia y el poder global basado en la ciencia (como lo demostraba la bomba atómica), la piedra angular de su política nacional e internacional (Abir-Am 1992/3, 1997). La biología molecular, a menudo denominada biofísica, se volvió atractiva para los físicos no sólo como un nuevo territorio por colonizar con las tecnologías de la física, sino también como un resultado de su capacidad de "redimir" los pecados de los físicos que habían facilitado la detonación de las bombas atómicas poniendo sus competencias al servicio de iniciativas para salvar vidas humanas.

Sin embargo, la cultura política de Estados Unidos tenía otra dimensión que demostró ser decisiva en el auge de la biología molecular en ese país. Ésta era la capacidad de Estados Unidos de integrar rápidamente a los científicos refugiados. En efecto, otro enfoque de la biología molecular en Estados Unidos, un enfoque centrado en el estudio de la genética de fagos, fue posibilitado por la asociación, durante la guerra, entre Salvador Luria y Max Delbruck, dos recientes refugiados de Italia y Alemania respectivamente, dos científicos estadounidenses, Alfred Hershey y Thomas Anderson, y un científico emigrado, Milislav Demerec. Durante la Segunda Guerra Mundial, los cinco aunaron sus esfuerzos colaborando en la genética de fagos mientras se sentaban las fundaciones del llamado grupo de fagos. Este grupo informal se amplió considerablemente después de 1945, cuando se produjo un reclutamiento activo de científicos estadounidenses y emigrados en el marco de las escuelas de verano en el laboratorio de Cold Spring Harbor, en Long Island, Nueva York (Abir-Am 1998,1999).

La inspiración ideológica de los científicos estadounidenses como intelectuales públicos

Además de la cultura política favorable de los años cuarenta, ya se expresara directamente en fondos destinados a la política científica, o indirectamente, gracias a las oportunidades de rápida integración para los científicos refugiados y emigrados, el auge de la biología molecular en Estados Unidos también se benefició de la relación de sus científicos con diversas causas públicas que proyectaron un importante aura ideológica de conciencia social. Por ejemplo, Leo Szilard, uno de los arquitectos del proyecto Manhattan, que comenzó a estudiar biología molecular después de la guerra, fue uno de los fundadores del Bulletin of Atomic Scientists y de la Division for Social Responsibility of Scientists of the American Association (AAAS), y a menudo se pronunció en contra de la utilización de la bomba atómica. Al mismo tiempo, Szilard trabajaba como asesor gubernamental en el Ministerio de Defensa, que dependía de la ciencia, la Office for Naval Research y muchos otros organismos relacionados, todos lidiando con la nueva necesidad de contar con una política científica. Sin embargo, en Nueva York el confinamiento de

la figura del intelectual público a personajes literarios y artísticos, hizo que los científicos estadounidenses comenzaran a actuar como intelectuales públicos sólo durante los años del macartismo, cuando su propia libertad se vio limitada por una caza de brujas ideológica de fuerte componente anticomunista.

En efecto, la biología molecular en Estados Unidos se vio perjudicada por la obsesión ideológica del gobierno de ese país durante la era McCarthy. Se denegaron visas a científicos sospechosos de inclinaciones izquierdistas, fundamentalmente a aquellos que adoptaron una posición pública contra el juramento exigido en aquellos días que obligaba a los miembros de la facultad a jurar que no eran comunistas. Bajo este mismo clima, la negación de visas a Salvador Luria y Linus Pauling para asistir a reuniones científicas en el Reino Unido a comienzos de los años cincuenta, les impidieron conocer nuevos datos científicos en relación al papel y la estructura del ADN, y el resultado fue que ninguno de los dos pudo conocer adelantos decisivos. De la misma manera, la denegación de visas en Estados Unidos a importantes biólogos moleculares del Reino Unido, sobre todo a J.D. Bernal y Dorothy Hodgkin, y al francés Jacques Monod, otra destacada figura de la biología molecular, impidió que se celebraran intercambios científicos mutuamente provechosos.

La cultura institucional de la ciencia-molecular en Estados Unidos durante los años cuarenta

El auge de la biología molecular en Estados Unidos en los años cuarenta también se apoyó en culturas institucionales específicas, especialmente en el Cold Spring Harbor Laboratory, en Long Island, Nueva York, donde la colaboración inicial entre los fundadores del Grupo de fagos se produjo en el ambiente relajado de un laboratorio regional interuniversitario, algo parecido a la informalidad de las estaciones biológicas marinas, mientras se atendía a la doble necesidad de ciencia y esparcimiento de la comunidad atlántica. Esta es también la institución que contribuyó a reclutar a la nueva generación de estudiosos de la genética de fagos en el período posterior a 1945. Queda más allá del alcance de este artículo un estudio más acabado sobre las instituciones científicas relevantes en el auge de la biología molecular en Estados Unidos, especialmente en la costa oeste y en el medio oeste (fundamentalmente en el triángulo de Chicago), o los núcleos institucionales en California del Norte y del Sur (Abir-Am 1998).

Para resumir, el auge de la biología molecular en Estados Unidos en los años cuarenta, ya sea bajo la forma de la química estructural ampliándose hacia la biología, como en el descubrimiento del hélice alfa, o bajo la forma de la genética de fagos, como en el experimento Hershey-Chase sobre los respectivos papeles de las proteínas y del ADN en la multiplicación de fagos, así como a los trabajos de Benzer sobre la fina estructura de los genes, se beneficiaron de tres factores culturales. Éstos eran una cultura política que reflejaba el surgimiento de Estados Unidos como la única superpotencia nuclear; una cultura ideológica que reflejaba la función pública de los biólogos moleculares en la lucha contra la fobia anticomunista, y una cultura institucional de fluidez, sobre todo la informalidad y la hospitalidad de una institución clave, el Cold Spring Harbor Laboratory. Esta convergencia dio una creciente ventaja a los científicos estadounidenses, que aumentó en el período posterior al lanzamiento del Sputnik, con el resultado de que, a partir de finales de los años sesenta, la mayoría de los premios Nobel en biología molecular fueron otorgados a científicos estadounidenses.

Sin embargo, entre 1962, cuando cuatro de cinco premios Nobel en biología molecular fueron otorgados a científicos británicos, y 1968, cuando se comenzó a sentir un dominio estadounidense en este campo, también es necesario reconocer la importancia de los franceses. En 1965, los tres premios Nobel de biología molecular fueron otorgados a científicos franceses. En la siguiente sección, analizamos cómo el contexto cultural en Francia puede haber contribuido al lugar destacado de la biología molecular en Francia durante los años cincuenta.

La cultura francesa y la biología molecular de los años cincuenta

Como en los ejemplos de la cultura del Reino Unido y de Estados Unidos, el impacto de la cultura francesa en la biología molecular en Francia durante los años cincuenta puede describirse en tres dimensiones. En primer lugar, existía una cultura política de una IV República inestable enfrentada a diversas crisis coloniales en medio de una prosperidad relativa debido al Plan Marshall y a los acuerdos del GATT. A pesar de que era incapaz de implementar su propio ideario innovador para la política científica, la República al menos dio un amplio margen para que los científicos emprendedores buscaran financiación en otros lugares, normalmente entre instituciones u organismos gubernamentales de Estados Unidos. En segundo lugar, la subcultura ideológica de intelectuales públicos, que tenía un papel destacado en Francia desde el asunto Dreyfus y el manifiesto *Yo acuso*, firmado por Émile Zola en 1898, acogió a los científicos, entre ellos a los biólogos moleculares. Finalmente, la cultura institucional de la ciencia, sobre todo la gloriosa tradición del instituto Pasteur, permitieron a los biólogos moleculares desarrollarse fuera de las rígidas estructuras universitarias, que fueron reformadas sólo después de los acontecimientos de mayo del '68.

Los biólogos moleculares en Francia y sus colegas extranjeros establecen que el comienzo de la biología molecular en Francia se remonta a 1921, año en que el decano de los tres científicos ganadores del premio Nobel en 1965, André Lwoff (1902-1994) se integró al Instituto Pasteur en París, donde posteriormente creó un departamento de fisiología microbiana, la unidad donde comenzó a desarrollarse la biología molecular en Francia. Sin embargo, el periodo de entreguerras en Francia es históricamente importante sólo como un capítulo en la biografía de Lwoff, especialmente su libre colaboración con Jacques Monod, que comenzó en los años treinta. Se adoptaron importantes medidas a favor del surgimiento de la biología molecular como disciplina después de la Segunda Guerra Mundial, cuando Lwoff, gracias a la creación de un organismo de gobierno de apoyo a la investigación, el CNRS (Centre National pour la Recherche Scientifique), tuvo facultades para disponer de un equipo clave en su laboratorio de forma permanente. Jacques Monod (1910-1976) fue nombrado Chef de Laboratoire en 1945. Elie Wolman (1917-) y François Jacob (1920-) se integraron como alumnos de posgrado en 1947 y 1950 respectivamente, y muchos otros científicos franceses y extranjeros acudieron al laboratorio de Lwoff durante el mismo período (Lwoff y Ullmann 1979, Abir-Am 1999).

En efecto, el descubrimiento de Lwoff de la lisogenia en 1950 proporcionó al grupo francés su primer gran logro, que anunciaba más de un decenio de excelentes trabajos que culminaron con el modelo operón de la regulación genética de la expresión de las proteínas, una gran construcción teórica de la biología molecular. (Morange 1998; Abir-Am 1998, 1999). ¿Cómo se relacionaron la cultura política en Francia de aquella época, la subcultura ideológica de los intelectuales públicos franceses y la cultura institucional del instituto Pasteur, para estimular la creatividad de la escuela francesa de biología molecular?

La cultura política y la política científica de una inestable IV República

La cultura política de la IV República, entre 1945 y 1959, cuando Charles De Gaulle asumió la presidencia de la V República, inaugurando así un régimen estable hasta finales de este siglo y más allá, giraba en torno a la crónica inestabilidad del gobierno, en gran parte, aunque no completamente, debido a fracasos en los asuntos extranjeros y coloniales, especialmente en Indochina y en el norte de África. En el plano nacional, el manejo judicial inconcluso de la colaboración con los ocupantes nazis durante el régimen de Vichy marginó numerosos asuntos del discurso público, y hasta finales de los años ochenta prevaleció la actitud de que todos habían pertenecido a la resistencia. Con el comienzo de la Guerra Fría, Francia empezó a descartar a los comunistas (que fueron mayoría en las filas de la resistencia) de los altos cargos del Estado. Por ejemplo, el premio Nobel Frédéric Joliot-Curie, yerno de la legendaria Marie Curie, fue destituido del cargo de Alto Comisionado de la Energía Atómica en 1950. También se manifestó el temor a la "amenaza roja" en las negociaciones de los científicos franceses con las instituciones filantrópicas de Estados Unidos a comienzos de los años cincuenta, puesto que éstas sospechaban que el propio CNRS era vulnerable al control de los comunistas (Abir-Am 2000).

Al mismo tiempo, durante este período surgieron notables hombres de Estado (Pierre Mendès-France, Maurice Schuman, Jean Monet), y se produjo un espectacular proceso democrático. En lo que concierne a la política científica, se manifestó una inquietud creciente con la actualización de la infraestructura científica en Francia, como queda de manifiesto en el Coloquio de Caen, una conferencia de figuras gubernamentales y consejeros científicos que se pronunciaron sobre una serie de propuestas para reformar la base científica y tecnológica en Francia. Si bien esta inquietud creciente con el papel de la ciencia en la modernización del país condujo a la ampliación del CNRS, la inestabilidad del gobierno dificultó la implementación de reformas de gran alcance o a gran escala.

Sin embargo, este volátil contexto estimuló una conducta empresarial entre los científicos ante las fuentes externas de financiación, que en la práctica eran los organismos gubernamentales de las ciencias médicas y biomédicas de Estados Unidos, la NSF y el N.I.H. (National Institute of Health), así como fundaciones privadas establecidas en Estados Unidos, especialmente la Fundación Rockefeller y la National Foundation for Infantile Paralysis. La financiación proveniente de Estados Unidos facilitó, a su vez, la modernización de los equipos de los laboratorios franceses y la acogida de numerosos científicos estadounidenses como visitantes del instituto Pasteur. La amplia red de contactos de colaboración en Estados Unidos que mantuvieron los dirigentes de la escuela francesa de biología molecular les proporcionó posteriores invitaciones para ejercer la docencia, lo cual les permitía mantenerse informados de las fronteras científicas en continuo cambio.

Esta situación fue muy beneficiosa para la escuela francesa de biología molecular, cuyos trabajos comenzaron a ser bastante conocidos en Estados Unidos. La gran acogida que tuvieron los descubrimientos franceses a lo largo de los años cincuenta, sobre todo en Estados Unidos, allanaron el camino al triple premio Nobel a los biólogos moleculares franceses en 1965, el primer galardón de este tipo otorgado a científicos franceses en los últimos treinta años. Además de los incentivos indirectos que la cultura política francesa proporcionó durante los años

cincuenta para estimular estrechos lazos con la ciencia y los científicos de Estados Unidos, el auge de la biología molecular también se vio influido por la subcultura ideológica de los intelectuales públicos franceses de aquella época.

La subcultura ideológica de los científicos franceses como intelectuales públicos.

La principal oportunidad para que los científicos franceses asumieran el codiciado papel de intelectuales públicos se produjo en 1948 con el asunto Lysenko. La denuncia de la genética clásica por parte de Lysenko y sus partidarios en el Partido Comunista Soviético obligó a los científicos franceses a adoptar una posición. Mientras algunos estalinistas acérrimos se pronunciaron a favor del grupo de Lysenko, entre ellos comunistas leales a la Unión Soviética, otros científicos, entre los cuales Jacques Monod, manifestaron en público y en la prensa su disconformidad con la intervención del Partido Comunista Soviético en la ciencia en general y en la genética en particular.

Aún habría de producirse otra oportunidad para adoptar una posición como intelectual público. Sucedió en 1952, cuando Jacques Monod, junto a la mayoría de los científicos franceses, protestó por la sentencia de muerte contra los Rosenberg en Estados Unidos, acusados de espionaje a favor de la Unión Soviética. Tanto Monod como Lwoff se inclinaban por las ideas de Camus en su debate con Sartre, y sostenían que las preferencias ideológicas de los científicos eran diferentes de las de los filósofos y de los intelectuales literatos, que normalmente se habían identificado con el tipo de existencialismo socialista y activismo político de Sartre y de Beauvoir, contra el liberalismo de Camus y Raymond Aron. La participación de varios biólogos moleculares en el Coloquio de Caen fue una manifestación más de su voluntad de moldear el discurso cívico sobre el lugar de la ciencia en la sociedad. Sin embargo, otro aspecto cultural que influyó en el auge de la biología molecular en Francia está relacionado con la cultura institucional del Instituto Pasteur, una institución privada creada con donaciones públicas, y considerada un patrimonio nacional.

La cultura institucional de la ciencia: El legado especial del Instituto Pasteur

El estatus especial del Instituto Pasteur, independiente de la burocracia estatal y capaz de generar sus propios ingresos mediante la producción de sueros y vacunas, explica el relativo grado de libertad de que gozan sus científicos, sobre todo en la búsqueda de fuentes externas de financiación. Además del prestigio del instituto como el legado de una figura legendaria que actuó como héroe para su país en diversas ocasiones en materia de salud pública y de industrias clave (la cerveza, el vino y la seda), este estatus proporcionó a los biólogos moleculares una flexibilidad muy necesaria que se echaba en falta en los laboratorios y universidades, más burocráticas, del gobierno.

Aún así, hacia mediados de los años sesenta, se rebelaron contra la concentración del poder de decisión en manos de unos cuantos directores cercanos a la familia Pasteur y formados en la medicina, mientras se redactaba una nueva constitución para el instituto. Lo más interesante, con la llegada de Monod y Wollman como Director y Director Adjunto a comienzos de los años setenta, es que los antiguos biólogos moleculares marginales comenzaron a dirigir el Instituto Pasteur, y cambiaron su imagen pública de institución con una orientación predominantemente médica y de monopolio en la producción de vacunas, a ser más conocido como instituto de

investigación de renombre internacional. El deseo de transformar el Instituto Pasteur, de un centro de ciencia aplicada a un instituto de ciencia básica, inspiró gran parte del *gai savoir* durante los años cincuenta, con un clima siempre descrito como estímulo de creatividad, profesionalismo e innovación.

Conclusiones

Este artículo sostiene que las culturas del Reino Unido, Estados Unidos y Francia influyeron sucesivamente en el auge de la biología molecular en el periodo 1930-1960. Esto se ha explicado por la cultura política y la política científica resultante, la figuración ideológica de los científicos como intelectuales públicos, y la cultura institucional (es decir, social y material) que prevaleció en lugares donde floreció la biología molecular. Con el proceso de mundialización científica que comenzó en los años sesenta (Abir-Am 1992/3, 1997), el papel de la cultura, ya sea nacional, política, ideológica o institucional en sus dimensiones social y material, en la estimulación de la innovación científica, se ha vuelto más difícil de evaluar. Esto queda demostrado por la creación del Laboratorio Europeo de Biología Molecular (EMBL), que fue concebido a comienzos de los sesenta y se hizo operativo a mediados de los años setenta. Se trata de unas instalaciones supranacionales que no se encuentran ni en Francia ni en el Reino Unido, los dos países pioneros en biología molecular en Europa, sino en Heidelberg, Alemania.

A pesar de que la cultura institucional cosmopolita de laboratorios internacionales como el CERN o el EMBL estimula los intercambios científicos y la colaboración más allá de barreras nacionales, políticas, lingüísticas o culturales, sigue siendo materia de conjetura saber si desaparecerán totalmente los contextos culturales estimulantes que antiguamente sostenían el legado diverso de esta disciplina cada vez más influyente. En el futuro, aún queda por surgir un nuevo equilibrio entre el contexto lingüísticamente sostenido de la ciencia y el emergente multiculturalismo de formaciones políticas a gran escala que encuentran eco creciente en las conciencias políticas del siglo XXI. Esto se desenvolverá en planos que no son los del Estado nación, por ejemplo, en las regiones, las instituciones o los laboratorios supranacionales.

Traducido del inglés

Nota

* Agradezco sinceramente la hospitalidad del Departamento de Pedagogía de la Ciencia, de la Universidad Hebrea de Jerusalén y de la Unidad de Acogida para la Historia de la Medicina, en la Universidad de Oxford, que fueron esenciales para la redacción de este artículo en el verano de 2000.

Referencias

ABIR-AM, P.G., 2000. "The Rockefeller Foundation and Refugee Biologists: European and American Careers of Leading RF Grantees from England, France, Germany, and Italy", *En*: G. Gemelli. (ed.). *The "Unacceptables". American Foundations and Refugee Scholars between the Two World Wars*. Bruselas: Presses Interuniversitaires Européenes, 217-240.

ABIR-AM P.G., 1999. "The First American and French Commemorations in Molecular Biology: From Collective Memory to Comparative History", *En: Abir-Am P.G. y C.A. Elliott. eds. Commemorative Practices, En: Science: Historical Perspectives on the Politics of Collective Memory*. Chicago: Chicago University Press, 324-70.

ABIR-AM, P.G., 1998 (ed) *La Mise en Memoire de la Science: Pour une Ethnographie Historique des Rites Commemoratifs*. París: Editions des Archives Contemporaines/ Gordon & Breach Publishers.

ABIR-AM, P.G., 1997. "The molecular revolution in 20th Century biology: Three eras of post-war transdisciplinary stability" *En: J. Krige y D. Pestre, (eds.). Science in the 20th Century*. Londres: Harwood, 495-520.

ABIR-AM, P.G., 1992/3. "From multi-disciplinary collaboration to transnational objectivity: International space as constitutive of molecular biology, 1930-1970", *En: E. Crawford, T. Shinn y S. Sorlin (eds.), Denationalizing Science: The International Context of Scientific Practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 153-186.

ABIR-AM, P.G., 1992. "A historical ethnography of a scientific anniversary in molecular biology: The first protein X-ray photo (1984, 1934)", *Social Epistemology*, vol. 6, 1992, 323-354; 363-364; 371-372; 380-387.

ABIR-AM, P.G., 1987a. The Biotheoretical Gathering, transdisciplinary authority and the incipient legitimation of molecular biology in the 1930s", *History of Science*, 25: 1-70.

ABIR-AM, P.G., 1987b. "Synergy or clash: Disciplinary and marital strategies in the career of the mathematical biologist Dorothy M. Wrinch", *En: P.G., Abir-Am & D. Outram (eds.). 1987. 1989. Uneasy careers and intimate lives, Women in Science, 1789-1979*. New Brunswick N.J. y Londres: Rutgers University Press, 338-94.

ABIR-AM, P.G., 1985. "Recasting the disciplinary order in science: A deconstruction of rhetoric on 'biology and physics' at two International Congresses in 1931", *Humanity and Society*, 9 (noviembre, 1985), 388-427.

ABIR-AM, P.G., 1982. "The discourse on physical power and biological knowledge in the 1930s: A reappraisal of the Rockefeller Foundation's 'policy' in molecular biology", *Social Studies of Science*, 12: 341-82.

DE CHADAREVIAN, S.; H. KAMMINGA (eds.) 1998. *Molecularizing Biology and Medicine, 1910s-1970s* (Londres: Gordon and Breach).

FRUTON, J.S. 1972. *Molecules and Life*. New Haven: Yale University Press.

HODGKIN, D., 1980. "J.D. Bernal, 1901-1971", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, 1-80.

HOLMES, F.L. 1991 (vol. 1) y 1993 (vol. 2). *Hans Krebs and the fine structure of discovery*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

JUDSON, H.F., 1979 (reeditado 1993). *The Eighth Day of Creation, The Makers of the Revolution in Biology*. Nueva York: Simon and Schuster.

KOHLER, R.E. Jr., 1982. *The Rise of Biochemistry: The Making of a Biomedical Discipline*. Nueva York: Cambridge University Press.

KORNBERG, A. 1989. *For the Love of Enzymes*. Cambridge Mass.: Harvard University Press.

LWOFF, A.; A. ULLMANN (eds.), 1979. *Origins of Molecular Biology. A Tribute to Jacques Monod*. Nueva York: Academic Press.

MORANGE, M. 1998. *A History of Molecular Biology..* Cambridge MA.: Harvard University Press.

OLBY, R.C. 1974 (reeditado, 1994). *The Path to the Double Helix*. Londres: McMillan.

RABINOW, P. 1999. *French DNA*. Chicago: University of Chicago Press.

RASMUSSEN, N. 1997. "The mid-century biophysics bubble: Hiroshima and the biological revolution in America, revisited", *History of Science*, 35, 245-296.

SARKAR, S. 1998. *Genetics and Reductionism*, Nueva York: Cambridge University Press.

SWANN, B.; F. APPRAHAMIAN (eds.), 1999. *J.D. Bernal: A Life in Science and /Politics* Londres: Verso.

WRIGHT, S. 1994. *Molecular Politics*. Chicago: University of Chicago Press.

Nota biográfica

Rigas Arvanitis es investigador en el Instituto de Investigaciones para el Desarrollo (IRD, ex-ORSTOM), 32 av. H. Varagnat, 93143 Bondy cedex, France. Hebe Vessuri es investigadora en el Departamento de Estudio de la Ciencia, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Carretera Panamericana, Km 11, Caracas, Venezuela. Ambos autores se interesan por los problemas del aprendizaje científico y tecnológico en países en desarrollo. Mail.: hvessuri@reacciun.ve; rigas@mail.option-service.fr.

La cooperación Francia Venezuela en el campo de la catálisis (1)

Rigas Arvanitis y Hebe Vessuri

La cooperación científica internacional aparece bajo modalidades muy diversas. Si bien los estados dictan políticas para establecer arreglos institucionales bilaterales o multilaterales entre los países, la práctica científica misma vincula a instituciones científicas y laboratorios a través de los nexos entre los investigadores individuales para fines específicos. Las colaboraciones científicas se han convertido en la norma de la práctica científica moderna (Hicks y Katz 1996). Sin embargo, a la vez que son necesarias, las colaboraciones científicas internacionales imponen reglas de juego distintas a aquella investigación realizada de manera solitaria o sin colaboración institucional. Mucho se ha dicho sobre los determinantes de esta creciente colaboración a nivel internacional, que se ha constatado empíricamente con el análisis de coautorías de artículos científicos (*National Science Board* 2000; OST 1999). Se ha insistido que las colaboraciones científicas responden a estrategias geopolíticas y que la creciente integración económica impone a su vez mayor niveles de integración científica (Schott 1993; Arvanitis et al.1995). Los investigadores de algunos países en vías de desarrollo más que otros utilizan las colaboraciones internacionales para dar mayor visibilidad a su actividad y obtener posibilidades de desarrollo profesional y científico. Sin embargo, todos los investigadores saben hoy utilizar y promover activamente esquemas de colaboración. Buena parte de los esquemas institucionales se han puesto a prueba en las llamadas políticas de cooperación internacional, término que cubre las relaciones entre países desarrollados con países en vía de desarrollo. Algunos países han puesto especial énfasis en las colaboraciones con países en vía de desarrollo, como es el caso de Francia, Inglaterra, Suecia o Dinamarca (Gaillard 1999).

Nos proponemos estudiar un esquema particular de cooperación, entre Francia y Venezuela, en el nivel de análisis micro y no a través del análisis bibliométrico que se utiliza usualmente para este objetivo (Lewison, Fawcett-Jones & Kessler 1993). Consideramos que cuando se pasa de un análisis macroscópico a nivel de los países a un análisis microscópico más fino de las universidades y laboratorios en intercambios específicos, se consigue aprehender mejor los movimientos de producción científica y la posición relativa que ocupa un país en campos científicos particulares. Además pensamos que el funcionamiento de las colaboraciones científicas en cuanto a variables culturales e influencias se puede observar solamente con un análisis cualitativo que permite examinar los determinantes de la comunicación en la ciencia, cuestiones para las cuales los indicadores cuantitativos parecen mudos (Edge 1979).

El esquema PCP: un ejemplo original

En este artículo examinamos un programa de colaboración de científicos universitarios de Francia y Venezuela, llamado Programa de Cooperación de Posgrado (*Programme de Cooperation Pos-graduée* - PCP). El programa vincula a investigadores, laboratorios y programas docentes de posgrado a través de acuerdos bilaterales de los dos países. En estas colaboraciones se dan “estadías alternas” de estudiantes, generalmente doctorantes, inscritos en una universidad de su país y que pasan una parte del tiempo de sus estudios en la universidad socio del otro país donde desarrollan actividades vinculadas a su tesis de doctorado (Ambassade de France/CONICIT1999). En estos intercambios se incluyen también estadías cortas de investigadores pertenecientes a los laboratorios que forman parte de los programas en el país socio. Se trata de un mecanismo original que fue probado por primera vez en Colombia y Venezuela antes de ser extendido a México. Su particularidad institucional, como lo veremos adelante, es que se intentó incluir a industriales en los programas de colaboración. Los principios del PCP son: a) la construcción de redes de laboratorios de excelencia por ambas partes, b) programación plurianual (cuatro años) para permitir la realización de tesis en tiempo compartido, c) el financiamiento de las investigaciones por parte de socios industriales y de la movilidad por las instituciones de los dos países en partes iguales, d) determinación conjunta de los objetivos por las industrias y los laboratorios participantes.

En el origen del PCP, en los años de 1970-80, parecen haberse combinado varios factores, algunos más problemáticos que otros. A nivel de la cooperación universitaria no parece haber mayores problemas, pues se trata del intercambio más o menos equivalente de conocimiento, técnicas y credenciales entre “iguales” o cuanto más, entre maestro y discípulo. Pero la situación es otra cuando intervienen organismos del Estado, como en este caso el CNRS y el Ministerio de Relaciones Exteriores (MAE) de Francia y grandes empresas. En este contexto institucional, que va más allá del medio universitario en sentido estricto, las cosas se complican porque se las percibe como cooperación científica + “problemas prácticos-políticos”. Sin embargo, es precisamente el apoyo industrial bajo la forma del financiamiento de la investigación y la valorización de los resultados lo que probablemente constituya el aspecto más novedoso de este programa.

Una manera de ver la idea de triangulación de los socios: investigadores, gobierno e industria, es la de promover las relaciones de articulación con el sector productivo. En los primeros años de vida del programa, la aceptación de este enfoque, común en el ambiente de los ingenieros pero no tan frecuente en el contexto de los científicos básicos, no fue tan sencilla. Una percepción expresada por algunos investigadores franceses entrevistados era que el gobierno y las empresas francesas esperaban que los investigadores franceses sirvieran de cabeza de puente para la industria francesa lo cual, a quienes estaban ubicados en el medio universitario en los años post “mayo francés”, resultaba a menudo incómodo. Esta opinión era compartida en Venezuela por investigadores que fueron sus socios en la colaboración científica. En un momento, inclusive, hubo problemas con la colaboración, cuando después de la nacionalización petrolera, la empresa pública de tecnología de Venezuela, INTEVEP, comenzó a reivindicar con más fuerza su independencia, entre otras, en materia de propiedad intelectual y el IFP se retiró de ese país rompiendo relaciones. Los investigadores del IFP ya no podían colaborar más con el INTEVEP y las universidades que habían contribuido a formar una generación de investigadores en

Venezuela no podían seguir colaborando. Los profesores franceses solicitaron al CNRS continuar la relación al margen de la industria pues había gente bien formada, ex alumnos con quienes no querían romper la vinculación construida. A su vez, algunos universitarios venezolanos aprovecharon la tradición de intercambio, buscando maximizar las oportunidades que ofrecían las herramientas de la cooperación técnica francesa cuando a comienzos de la década de 1980 se les cerraron las alternativas de becas del gobierno venezolano como consecuencia de la crisis económica de ese país.

Si bien no ha sido fácil inducir el apoyo industrial en un programa académico, en el tiempo éste se diversificó y se nota un interés más sostenido de pequeñas y medianas empresas. En 1998 los términos del programa fueron renegociados y ahora se exige la participación del sector productivo como componente de base para la aprobación de la proposición por los agentes financiadores responsables (CONICIT y MAE), a fin de que los conocimientos generados puedan tener una aplicación social. La participación de grandes grupos industriales también ha estado presente y la base de apoyo constituida por los grupos petroleros como ELF, TOTAL e INTEVEP facilitó una diversificación de la presencia de otras grandes empresas, como Lyonnaise des Eaux, EDF, Peugeot, Danone, Akzo-Nobel, Générale Sucrière y Thomson-CSF. Los PCP contribuirían, de ese modo, a poner en contacto a empresas y vectores de empresas francesas con el mercado venezolano. Es probable que los efectos sean difusos y no sean objeto de tanta publicidad como las instituciones asociadas pudieran desear. No obstante, el financiamiento industrial se aproxima al de las universidades, lo que ha sido siempre un objetivo asignado al modo de funcionamiento de los PCP. El componente financiero del CONICIT en los últimos años ha sido bastante considerable, como consecuencia del gran número de expertos venezolanos puestos en movimiento por algunos programas.

Los investigadores franceses entrevistados argumentan que la iniciativa para un PCP de Catálisis partió de Venezuela; ellos habrían entrado en la colaboración, no la habrían iniciado. Nuestras interrogantes son varias: ¿la verdadera historia será así? ¿Por qué tanta gente en Venezuela eligió Francia para hacer estudios de catálisis? ¿Por qué no van más becarios venezolanos a España, aunque hay una catálisis española, y van más a Francia? ¿Será por el peso de la catálisis francesa? O porque los franceses tienen tecnología o aparatos que quieren vender y por ello ofrecen mejores oportunidades de colaboración? ¿El PCP es una forma de hacer publicidad a la ciencia francesa? ¿Por qué tiene las características que tiene? ¿Será que un Programa definido y organizado de esta manera responde al modelo estatal racionalista francés? ¿Por qué se dio en catálisis con tanta fuerza? ¿Por la calidad de la catálisis francesa? ¿Por la calidad de la catálisis venezolana? ¿Por la convergencia de intereses de los químicos involucrados de ambos países?

La catálisis

La pluridisciplinariedad de la catálisis, en la encrucijada de numerosas disciplinas como química de coordinación, ciencia de superficies, ingeniería química, química del sólido, química orgánica, electroquímica, geoquímica etc., refleja su centralidad en la química contemporánea, aunque al mismo tiempo esa misma pluridisciplinariedad también tiene su reverso pues conduce a la dispersión de los investigadores en los laboratorios y a la difusión de sus trabajos en revistas o congresos diversos, sin que ningún evento reúna al conjunto de la comunidad, ni alguna revista haga la síntesis de los aportes efectuados.

Es común afirmar que la catálisis es un proceso químico que involucra el empleo de una sustancia-el catalizador-que tiene como característica incrementar la velocidad de reacción sin consumirse en la composición de la reacción. Esta definición es la canónica, pero la noción ha cambiado en el tiempo, fundamentalmente en lo que respecta al contenido y posición del catalizador (Ceruti 1999). El paso de la concepción del catalizador como sustancia a su percepción actual como material no sólo correspondería a la nueva posición dominante de la ciencia de materiales, sino también a la formación y práctica de laboratorio. El químico orgánico trabaja con sustancias, mientras que el físico-químico estaría, por el contrario, más cómodo con un material. El cambio de énfasis de las definiciones acerca de los catalizadores se vincularía así a un cambio de prácticas de trabajo y, sobre todo, de prácticas industriales.

Es probable que en este mismo momento estemos asistiendo a una profunda redefinición disciplinaria, incluyendo los ámbitos más “tradicionales” de la catálisis metálica heterogénea en la petroquímica y la refinación. Los investigadores que vivieron y desarrollaron su actividad en el período que siguió a la invención de los catalizadores de polimerización de Ziegler-Natta no perciben este cambio en profundidad. Los investigadores que, por el contrario, tienen vínculos estrechos con la industria sienten una presión cada vez mayor para obtener respuestas “científicas” a problemas económicos. Es el caso, por ejemplo, de la estabilidad de los catalizadores, pues la regeneración de los catalizadores cuesta 7 millardos de dólares por año (J. Barbier, comunicación personal).

La relación de la comunidad científica universitaria con la industria es el problema central que nos ocupa en este trabajo. La catálisis universitaria es el producto de una presión por disminuir los costos del enfoque empírico en la industria.(2) El universitario debe tener una relación estrecha con la problemática industrial: “the preparation of catalysts having good industrial performance can show insurmountable difficulties even for catalytic researchers, if not skilled in manufacturing practice. This mainly because even *small changes* in manufacturing procedure may have *large effects* on catalytic properties” (Ceruti 1999). Así, estamos en presencia de un ámbito científico a la vez tributario de la industria pero también en posición de fuerza pues puede contribuir al rendimiento económico de los procesos industriales. Las cuestiones interesantes de investigación provienen a menudo de la industria o de un enfoque que tiene prolongaciones inmediatas en la industria. Esta relación estrecha define a la vez los límites de lo que se puede hacer en un laboratorio universitario y también sus posibilidades(3). La obtención de un catalizador para una reacción a nivel del laboratorio, su optimización y adaptación a la fabricación de productos en escalas mayores, generalmente se traducen en forma casi inmediata en la consecución de patentes negociables, aún en el caso de procesos que circunstancial o coyunturalmente pudiesen ser poco rentables al momento de su aparición.

Su alcance en la actualidad es de tal magnitud, que la rentabilidad y existencia de todas las industrias químicas de base y/o farmacéuticas dependen sustancialmente de la correcta operación de procesos catalizados en el mayor número posible de sus fases de producción. Este último aspecto ha pasado a ser el factor dominante en épocas recientes (y lo será aún más en el futuro), dadas las pautas internacionales cada vez más restrictivas que la sociedad ha impuesto en relación a los niveles de contaminación ambiental de origen industrial que se estiman aceptables. Por tanto, si bien al principio el medio académico desarrolló la catálisis como un camino para investigar la posibilidad de hacer cinéticamente asequibles un número mayor de procesos termodinámicamente factibles y/o para ensayar vías hacia la obtención de nuevos productos, hoy

en día que estos procesos están bien establecidos, su supervivencia y competitividad han pasado a otros planos en donde la selectividad del proceso y por ende del catalizador, en términos de reducción porcentual de subproductos inútiles o contaminantes, juega un papel cada vez más determinante.

La catálisis francesa

La catálisis francesa tuvo cierta especificidad en el tiempo. Es el único país que presentó una visión coherente de la catálisis desde temprano. En USA no existe en forma diferenciada, sino que está distribuida en diferentes disciplinas. En Francia, en cambio, ha habido históricamente mucha interacción entre los grupos integrados en una misma institución, pudiendo atacar los problemas simultáneamente con todos los enfoques. Su origen se remonta a Paul Sabatier, quien desde fines del siglo XIX hasta su retiro en 1929 estableció un programa de investigación y docencia en química orgánica en Toulouse, que superó ampliamente a París y con la fundación de institutos técnicos en esa universidad ofreció la posibilidad de establecer contrapesos en la provincia a la tradicional centralidad de París en el seno de la comunidad científica francesa (Nye 1986). Su desarrollo temprano, con Senderens, de la hidrogenación catalítica a principios de siglo fue adaptado rápidamente para la aplicación industrial. Por otra parte, el investigador norteamericano de origen ruso Vladimir Ipatieff tuvo como discípulos en su laboratorio de la Northwestern University a dos investigadores franceses, que serían los fundadores de la catálisis francesa moderna: J.E. Germain y M. Prettre. En ellos se encuentra la identidad de la moderna escuela francesa. A mediados de siglo, la catálisis francesa se concentraba fundamentalmente en dos escuelas de catálisis: la de Lyon y la de Poitiers.

1. **La escuela de Lyon.** M. Prettre fue el fundador del *Institute de Recherche sur la Catalyse* (IRC) en Lyon, en los años de 1950. Era un físico-químico que decidió hacer catálisis. El tipo de catálisis que fue característico del IRC estuvo más ligado a la Físico-Química del catalizador, la caracterización de superficies, con un enfoque más básico, más fundamental. Por muchos años, el IRC fue la única institución en Francia que tenía todos los instrumentos especializados en catálisis, inclusive para la caracterización de catalizadores del IFP, etc. Según un informante calificado, Mr. Pierre C. Gravelle, hubo una competición creciente entre el IFP y el IRC, bastante sana por cierto. A Prettre lo sucedió B. Imelik y en 1978 el director del CNRS en esa época decidió invitar a Raymond Maurel a que lo dirigiera.
2. **Escuela de Poitiers.** J.E. Germain comenzó en la Escuela de Química de Lyon. Después estuvo en la Universidad de Northwestern en el Ipatieff Institute trabajando bajo la dirección de Herman Pines. De regreso en Francia, Germain introdujo una segunda escuela de catálisis en la Ecole Normal Supérieure (Paris). Maurel fue su discípulo y lo siguió cuando Germain se trasladó a Lille. Después, éste fue nombrado en Poitiers. Desde Lille, donde estaba para entonces Germain, ubicó a sus discípulos en Strasbourg, Caen y Poitiers. El origen de Germain estaba en la Química Orgánica. Puso énfasis en los mecanismos de reacción, las moléculas, la cinética. La catálisis de Poitiers nos fue descrita por algunos de sus exponentes, como una "catálisis de los pobres", que necesitaba mucho menos dinero que la investigación de caracterización de sólidos y que tal vez por eso puede haber resultado interesante como modelo para los países en desarrollo. Pero lo cierto es que después recibieron grandes financiamientos. Muchos investigadores y empresas iban a Poitiers a caracterizar sólidos. La

industria se asociaba más fácilmente con la escuela de Germain que con la de Prettre porque trabajaba con moléculas reales en reactores reales.

3. *La Escuela de Lovaina*: Hubo una tercera escuela que aprovechó las dos orientaciones mencionadas de una manera sui generis: la de la Universidad Católica de Lovaina. En los años treinta se fundó una unidad de cinética química por J.C. Jungers. Esta temática fue de gran interés para el IFP, así como la químico-física de combustión que dirigió A. van Tiggelen en los años sesentas. Estas dos orientaciones hicieron del Lovaina un sitio de suma importancia para el IFP. Incluso llegó a decirse, como broma benévola, que no se podía hacer carrera en el IFP si no se tenía una tesis de doctorado en Lovaina. El desarrollo de la catálisis en la industria fue más bien episódico. En todas las grandes industrias había catálisis, pero en ellas los catalíticos estaban repartidos, no eran reconocibles como grupos especiales.

Hoy el mapa catalítico de Francia es más mezclado que a mediados de siglo. Todo el mundo hace todo. La catálisis química o química fina está en ascenso. La catálisis petrolera ha alcanzado un techo, en particular desde el punto de vista científico. Actualmente, gran parte de la actividad industrial en catálisis pareciera ser más la actividad de ingeniería. Aproximadamente el 50% de los gastos de los laboratorios universitarios son pagados por la industria. Por lo tanto, gran parte de la investigación académica responde a las necesidades industriales. Se da una especialización que resulta de los contratos con los industriales. Si bien en el pasado, 25-30 años atrás se ignoraba la catálisis química (que hacen los químicos orgánicos) y sólo se hacía catálisis petrolera, hoy en día la industria sabe qué preguntas hacer a los investigadores. Estos, por tanto, pueden trabajar más próximos a la industria. Los laboratorios conocen bien los problemas de la industria y los industriales mismos se ocupan también de la catálisis química, haciendo propuestas de investigación interesantes a los investigadores.

Una encuesta reciente sobre los laboratorios e investigadores que trabajan en catálisis en los sectores público y privado de Francia reveló más de 50 laboratorios que tenían por lo menos un equipo que trabajaba en este campo, y aproximadamente unos 850 investigadores (Breysse, 1998). En el último Congreso Internacional de Catálisis (11th ICC, 1996) se estima que Francia tenía el 15% de las comunicaciones, después de Estados Unidos y Japón, y con el Reino Unido siguiéndole cerca en cuarto lugar. Sin embargo, la División de Catálisis de la Sociedad Francesa de Química en 1993 tenía 264 miembros, 320 en 1994, 280 en 1995, 294 en 1996 y 324 en 1997, cifras comparables con las de Venezuela. Los comentarios de Jacques Védrine en su discurso final como presidente de la División de Catálisis de la Sociedad Francesa de Química en 1997, ayudan a explicar estos valores de asociatividad. Según Védrine, a los franceses no les gusta adherirse a una asociación, sociedad o sindicato: tienen la impresión de ser reclutados, se sienten limitados en su acción "individual" por no decir "individualista". Védrine insiste en su texto de despedida que la unión hace la fuerza y que se impone una comunidad poderosa. Llama la atención que hay diez veces menos adherentes a la *Société Française de Chimie* que a la Sociedad Química Holandesa! Cuando el presidente de la SFC quiere discutir con los alemanes, los británicos, los holandeses, etc., argumenta, sobre el futuro de las revistas científicas nacionales para convertirlas en europeas o para una acción hacia una sociedad química europea unida (para intentar rivalizar con la *American Chemical Society*) se le responde con razón desde otros países europeos apuntando a la relativamente baja representatividad de la SFC (Védrine, 1998).

La tabla 1 permite mostrar un panorama general de la distribución de la actividad científica en catálisis en el mundo. Estados Unidos domina con casi un artículo o documento de cada cinco. Sin embargo, Japón tiene un número bastante alto de artículos sin ser un país petrolero ni tener una industria química tan poderosa como la de otros países. Ciertos países como Holanda, tienen una actividad dominada por una gran empresa (en este caso el laboratorio de investigación de SHELL (Scholten 1994). De manera general, la investigación en catálisis está muy relacionada con empresas; en Francia este nexo se ha limitado (por lo menos en el campo de la catálisis heterogénea) a algunas empresas muy importantes como ELF, TOTAL, Renault, etc.

Tabla 1: Producción en catálisis registrada en la base PASCAL 1996-1998 (13)

País	Documentos	Porcentaje
USA	4103	21,2%
Japón	2779	14,3%
Francia	2184	11,3%
Alemania	1318	6,8%
Rusia	946	4,9%
Reino Unido	917	4,7%
India	652	3,4%
Canadá	558	2,9%
Holanda	539	2,8%
Suiza	240	1,2%
Argentina	180	0,9%
Brasil	169	0,9%
Australia	162	0,8%
Israel	116	0,6%
México	108	0,6%
Noruega	91	0,5%
Venezuela	63	0,3%
Chile	40	0,2%
Nueva Zelandia	21	0,1%
Colombia	15	0,1%
Argelia	15	0,1%
Total documentos	19.376	100,0%

Fuente: Base Pascal. Elaboración de los autores.

De manera general, los investigadores franceses que tienen relaciones con países periféricos son una minoría. No parece ser ese el caso en el campo de la catálisis, probablemente por su vinculación con la industria petrolera. La colaboración internacional con ciertos países ha sido muy estrecha. En algunos casos, los franceses han sabido exportar su modelo institucional que nació en torno al IFP (caso, por ejemplo, de Irán). Debe decirse que se trata de un sistema que ha sido exitoso y que permitió a Francia tener una industria petrolera aún sin tener yacimientos petroleros en su territorio. En torno al IFP, surgió un gran número de empresas que forman un verdadero sistema de innovación (Furtado 1994). De allí la importancia de países como China,

Rusia, México, Argentina, Brasil y Venezuela en la colaboración internacional de la catálisis francesa. Esto explica por qué encontramos los nombres de los líderes de la disciplina en Francia en las misiones y evaluaciones de los programas internacionales con esos países.

Antecedentes de la catálisis en Venezuela y la conexión francesa

En Venezuela se comenzó a trabajar en catálisis en 1964, cuando se firmó un convenio de cooperación entre la Universidad Central (UCV) y la Universidad de Munich, para desarrollar actividades de formación de recursos humanos e investigación en la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias. El desarrollo de la investigación era incipiente en la Facultad. La expectativa era que la catálisis sería crucial para la industria química, sobre todo para la industria de refinación, que en el caso de un país petrolero como Venezuela, era su principal industria (aunque para la fecha todavía estaba en manos de las concesionarias extranjeras). Ese programa de cooperación, resultado de la iniciativa de la Facultad de Ciencias a través de los contactos de un joven instructor venezolano quien estudiaba en el Instituto de Físico-Química de G.M. Schwab en Munich, implicó la venida al país del profesor Heinrich Nöller y de su colaborador, el español Paulino Andréu, quien en ese tiempo hacía su posdoctorado en Alemania. Andréu se estableció en el país y estuvo vinculado a la mayoría de los desarrollos posteriores de la catálisis venezolana.

En la Escuela de Química-UCV se aplicó la política de invitar con cierta frecuencia a connotados profesores de distintos países a dictar seminarios y conferencias, para familiarizar a los estudiantes con esas personas y sus programas. Se estructuró un primer plan de formación de recursos humanos (1968-1973) consistente en el envío de becarios al exterior con financiamiento público y en colaboración con la Embajada de Francia, aunque se buscó evitar depender de una sola “cultura” científica: así, además de enviar becarios al Instituto Francés del Petróleo (investigación industrial) y al *Institut de Recherche sur la Catalyse* de Lyon (investigación básica) en Francia, también salieron al *Ipatieff Catalytic Laboratory* en los Estados Unidos, al Instituto Roca Solano en Madrid, España; a la Universidad de Munich en Alemania; a Checoslovaquia, etc.

A fines de la década de 1960 había ya un pequeño grupo de catálisis en la UCV, cuando ésta fue sacudida primero por el movimiento de “renovación universitaria” que condujo al cierre temporal de la universidad. En ese período llegó a Venezuela una delegación francesa invitada por el Ejecutivo Nacional, la cual visitó varias instituciones universitarias entusiasmado a personas que decidieron hacer el posgrado en Francia. Paralelamente, en una iniciativa independiente se firmaba el acuerdo de creación de un Instituto Universitario de Tecnología en la Región Metropolitana (IUT-RC), que seguiría el modelo de los IUT franceses y contaría con fuerte apoyo del gobierno francés para la compra de equipos y formación de personal. (4) Como parte del programa de intercambio, viajaron a Venezuela una cantidad de jóvenes *coopérants*(5) franceses, continuando la experiencia que había comenzado unos años antes en la Facultad de Ciencias-UCV. Desde un comienzo, el IUT-RC apoyó la catálisis como una de las líneas a seguir dentro del plan de formación de profesores, orientado al desarrollo de técnicos superiores para la industria petrolera, en vista de la inminente nacionalización de la industria petrolera y petroquímica.

En febrero de 1977 hubo otra visita a la UCV de una misión de catalíticos franceses. Durante la misma se definieron varios anteproyectos de investigación conjunta. En ocasión del V Simposio

Iberoamericano de Catálisis en Lisboa en 1977, el grupo de participantes venezolanos (de la UCV, Universidad de Carabobo (UC) e Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) tuvo una reunión informal con Raymond Maurel, a la sazón Director del Laboratorio de Catálisis de la Universidad de Poitiers, respecto a una posible cooperación científico-tecnológica en el área de catálisis y química de hidrocarburos. Como consecuencia, visitaron Venezuela investigadores franceses de alto nivel y representantes de la industria petroquímica francesa para participar en una reunión de trabajo coordinada por el CONICIT que incluyó, además de la presencia de los grupos universitarios, a miembros de INTEVEP y representantes de industrias privadas venezolanas. En 1978 investigadores venezolanos fueron invitados a Francia a visitar laboratorios de investigación en catálisis. De esa visita resultaron programas de investigación conjunta, que parecen haber sido una reformulación de las propuestas que se habían discutido en la reunión de 1977. También surgió un plan de intercambio de misiones con el fin de discutir y evaluar el avance de las investigaciones.

En 1983 se realizó el Primer Coloquio Franco-Venezolano de Catálisis en Caracas, a iniciativa de los profesores de la UCV y con el apoyo de los servicios científicos y técnicos de la Embajada de Francia en esa ciudad. En un informe de la Embajada Francesa se indica que entre los docentes e investigadores de catálisis había “numerosos francófonos y francófilos”. Aunque se reconocía que la influencia de los Estados Unidos y del Reino Unido era en general predominante, se argumentaba que en el ámbito de la catálisis, más de la mitad de los investigadores venezolanos se habían formado en Francia. La importancia que para los venezolanos tenían las relaciones con Francia quedaban subrayadas por haberse incluido un encuentro franco-venezolano en el marco de la celebración de los 25 años de la Facultad de Ciencias de la UCV. Numerosas discusiones contribuyeron a apuntalar los programas bilaterales en curso y a anudar nuevos contactos. Se lanzaron nuevos proyectos, notablemente en catálisis homogénea, ámbito en el cual las relaciones eran más recientes.

Los franceses propusieron una reunión simétrica dos años más tarde, en 1985, en Francia, con la misma población de universitarios e industriales especialistas en catálisis heterogénea y homogénea. En 1985 se hizo una evaluación del posgrado de la Escuela de Química de la UCV, que ofrecía la maestría y el doctorado en diferentes opciones, entre otros con la orientación de catálisis heterogénea. M. Goldwasser y F. Parra hicieron una propuesta de lo que llegaría a ser el primer Programa de Cooperación de Posgrado (PCP) entre el CEFI-International, un organismo de promoción de los acuerdos de cooperación en las ingenierías con Francia, y el CONICIT. Ese año 14 venezolanos, seleccionados de un total de 20 aspirantes, participaron en el Coloquio de Catálisis de Rueil-Malmaison, con la colaboración del gobierno francés, ELF, TOTAL, Procatalyse y el IFP, además del CONICIT. En 1986 un informe francés observaba que las relaciones científicas existentes eran sólidas, y una misión de Guisnet como jefe de la catálisis en Poitiers tuvo por objeto acoplar la Maestría UCV y U. de Poitiers. Seguidamente se firmó el convenio de cooperación y se puso en marcha el primer PCP.

Los programas estructurados de cooperación en catálisis

En la década de 1970, cuando surgió la colaboración con Venezuela en catálisis, las figuras más importantes de la catálisis francesa intervinieron en la organización del intercambio. R. Maurel era el hombre más poderoso de la química francesa, como director del departamento de Química en el CNRS, donde había comenzado programas internacionales. Su conexión con la catálisis de Poitiers se había iniciado tiempo atrás cuando dirigía el laboratorio de catálisis en esa

universidad. En una entrevista recordó que la colaboración de la Universidad de Poitiers con Venezuela había comenzado alrededor de 1969-1970, con la iniciativa del venezolano Federico Rivero Palacios, fundador del primer Instituto Universitario de Tecnología de Venezuela. Fue del laboratorio de catálisis, que dirigía Maurel, que salieron los graduados de química que se trasladaron a Venezuela a trabajar en el flamante IUT de Caracas. Los investigadores venezolanos estuvieron así muy rápidamente en conexión con los laboratorios franceses y aprovecharon la facilidad que ofrecía la posición privilegiada de la catálisis en la química francesa.

El PCP es un programa dirigido a la formación de investigadores. Pero es bastante más que un simple programa de becas. Se procura un intercambio permanente de socios de investigación, en base a intereses compartidos en un grado más intenso y estructurado que en programas de formación de otros países europeos. El proceso de colaboración se organizó a través de acuerdos específicos que apuntaban a un mejor planeamiento y una visión estratégica de la investigación conjunta entre los países cooperantes. En el caso del petróleo, se buscó el apoyo del INTEVEP y el IFP, que eran los centros de la IyD pública de la industria petrolera de ambos países. El modelo francés parecía interesante porque las compañías petroleras francesas, ELF y TOTAL, eran también empresas públicas, que sirvieron como modelo para varios países de menor desarrollo cuando decidieron impulsar el desarrollo desde el estado. (6) Para los franceses las ventajas del PCP estaban en su propia experiencia en la colaboración internacional, en la obtención de más estudiantes con acceso a los laboratorios de un país que tenía una industria petrolera y la posibilidad de aumentar el número de publicaciones conjuntas. Los venezolanos buscaban establecer puentes para enviar estudiantes al exterior y salir del aislamiento, así como también el prestigio de la colaboración internacional que apuntalaría su credibilidad y validaría su labor. La particularidad del PCP como instrumento de colaboración radicaba en el esfuerzo de su promotor, el Sr. Guibert, quien insistía en la necesidad de tener colaboraciones internacionales que interesasen directamente a las industrias. Opinaba que era una manera de promover la ingeniería francesa y una visión de la industria francesa. En este sentido es paradójico quizás observar que el programa de investigación del PCP-catálisis se limitó a investigaciones que si bien interesan a la industria no forman parte de las tecnologías que las industrias petroleras pueden directamente comercializar o utilizar.

El primer acuerdo PCP entre CONICIT y CEFI preveía la realización de estudios de Maestría (Química, Opción Físico-Química), en la Escuela de Química, Facultad de Ciencias de la UCV (coordinada por M. Goldwasser) y la Formación D.E.A.(7) en Química Aplicada de la Universidad de Poitiers (coordinada por M.Guisnet). El objetivo del acuerdo era permitir a los estudiantes con licenciatura de la UCV inscribirse por correspondencia en el D.E.A., al mismo tiempo que se le daba la oportunidad a un máximo de diez estudiantes de posgrado venezolanos de realizar pasantías en el exterior, desarrollando interacciones entre los principales grupos de catálisis heterogénea de Venezuela (Escuela de Química y Facultad de Ingeniería Química-UCV, IUT-RC y diversos equipos franceses (LACCO-Poitiers, LURE-Orsay, URA 402-Lille e IRC-Lyon), con un mínimo costo para el país de origen y un gran beneficio para la formación del estudiantado. El programa tenía como temática de investigación la promoción de las zeolitas y de materiales relacionados.

Por otra parte, en el marco de la reunión de Rueil-Malmaison en abril de 1985, se propuso la puesta en marcha de un PICS (8) en los temas de: Tratamiento de crudos pesados y residuos y

Catálisis homogénea y química fina. La responsabilidad inicial de la preparación de la propuesta fue confiada a Orlando Leal, como portavoz de la Sociedad Venezolana de Catálisis y a Pierre Gravelle, presidente de la División de Catálisis de la Sociedad Francesa de Química. En comunicación a Leal de enero de 1986, Gravelle propuso como tema de colaboración la conversión de crudos pesados, incluyendo el tratamiento de residuos de petróleo, con el argumento que en Francia había una colaboración entre las compañías francesas (ELF Francia, CFR e IFP) y el CNRS con estudios conjuntos en ese campo. Suponía que un acuerdo similar existía entre el INTEVEP y las universidades. Las compañías francesas habían llegado a un acuerdo con el INTEVEP y, por lo tanto, no tenían restricciones que los químicos universitarios franceses colaboraran con los laboratorios venezolanos sobre esos temas. Pedía a Leal que consultara a INTEVEP y le hiciera saber la opinión de esa institución sobre esta colaboración.

A su vez Gravelle envió una comunicación a la Dirección General de Relaciones Culturales, Científicas y Técnicas del MAE, encargada del apoyo de relaciones científicas bilaterales de Francia y a la Dirección de Relaciones Internacionales del CNRS sobre la creación de un Programa Internacional de Cooperación Científica Francia-Venezuela en el tema de la conversión de crudos pesados y residuos. Entre las motivaciones señalaba que la definición y la puesta a punto de futuras mejoras [para hacer frente al aumento de la severidad de la legislación anticontaminante] eran, en Francia, uno de los ejes principales del programa de investigación en el cual estaban comprometidos los dos grandes grupos petroleros franceses y el Instituto Francés del Petróleo, reunidos para este objetivo en la asociación ASVAHL (Asociación para la Valorización de Crudos Pesados). Por convenio del CNRS con los socios de ASVAHL se venían desarrollado desde 1984 proyectos de investigación sobre tratamientos térmicos y catalíticos de valorización de los crudos pesados y residuos de refinación. A pesar del freno que significaban los bajos precios vigentes del petróleo, la valorización de los crudos pesados seguía siendo un objetivo prioritario para Venezuela: las reservas recuperables de petróleo extra pesado de la Faja del Orinoco representaban 44% de las reservas mundiales de este tipo de crudo. Desde hacía varios años, el INTEVEP y los laboratorios universitarios de catálisis desarrollaban en común investigaciones sobre la conversión de los crudos pesados y su desmetalización.

De ese modo, después de 15 años de colaboración fructífera entre los equipos franceses y venezolanos y un año después de iniciarse el primer PCP-Catálisis, se firmó el primer PICS (Programa Internacional de Cooperación Científica) de Catálisis en 1988, que fue el primer programa internacional suscrito en el marco CONICIT-CNRS, teniendo como contrapartidas el IPSOI (Instituto de Petróleo y Síntesis Orgánica Industrial), el IRC (Instituto de Investigaciones de Catálisis de Lyon) y el Laboratorio de Química de Coordinación de Toulouse por Francia, y el IVIC, UCV e INTEVEP (9) por Venezuela. Los esfuerzos de investigación en este programa se orientaron a la valorización del metano en fase homogénea o mediante el uso de catalizadores soportados. Una temática común a ambos programas en esta primera fase de la cooperación bilateral fue el estudio del proceso HDS debido a la necesidad que existía en ese momento de avanzar sobre el conocimiento de esta área debido al tipo de crudos que se procesaban en ambos países.

Después de varias discusiones en el lapso 1990-1991 los trabajos de los equipos del PICS y del PCP se orientaron crecientemente hacia “la síntesis orgánica por medio de la catálisis”.(10) Si bien se buscaba la fusión temática de los dos programas, era claro que la mayoría de las acciones se referían sea a la catálisis homogénea o a la catálisis heterogénea y no conjuntamente a los dos tipos de catálisis. Por otra parte, las formaciones doctorales francesas (necesarias para el PCP)

sólo se referían a una sola de estas disciplinas y se apoyaban o bien en los laboratorios de heterogénea o de homogénea. En 1991, después de una evaluación favorable de los cuatro años del PICS, Basset planteó la conveniencia de concluirlo, renovándolo a nivel de la temática pero preservando los vínculos estrechamente tejidos durante más de 20 años, debido a varios factores:

1. Las prioridades científicas de los dos países habían evolucionado en ese lapso. En particular, la química ambiental y la química fina selectiva habían pasado a ser prioritarias en ambos países,
2. Era necesaria una renovación de las temáticas para evitar una “esclerosis temática”,
3. Se hacía evidente la necesidad de cambiar a los responsables después de la ejecución de un programa dado,
4. La voluntad de integrar el PICS y el PCP (que representan de alguna manera la investigación y la formación) conduciría inevitablemente a la designación de una persona como encargada del conjunto,
5. La voluntad del CNRS de no renovar sistemáticamente los programas PICS sobre un tema específico para dejar lugar a otras disciplinas y otros temas.

En 1992 el CONICIT multiplicaba su presupuesto por 4, y en el país se preveían enormes inversiones en los siguientes 10 a 15 años, fundamentalmente en los ejes petroquímica y gas natural, con una necesidad estimada de 5000 profesionales químicos en los siguientes 5 años.(11) La situación de la industria petrolera era particularmente interesante: la comercialización directa de petróleos pesados y residuos ya era una realidad gracias al procedimiento “Orimulsión”® (Vessuri y Canino 1996). Pero independientemente de que esta vía permitiera una primera valorización de los crudos pesados, su refinación y conversión profunda pasaría a ser una necesidad. La hidroconversión de los residuos aparecía como la técnica que permitiría su valorización mayor por transformación en fracciones de gasolina y gasóleo. Entre los procedimientos disponibles en las compañías petroleras mundiales, el procedimiento HDH del INTEVEP era uno de los de mejor desempeño y más originales en materia de concepción y utilización del catalizador. No había sido por casualidad que esto se había dado así, ya que era una prioridad de interés vital para la industria petrolera venezolana. Y se había logrado de manera eficaz y en un breve lapso, habida cuenta de la juventud de la investigación petrolera venezolana. Se había hecho la prueba a escala piloto y el procedimiento HDH había sido testado en una unidad de 20 T/d de capacidad. El estudio de ingeniería de una unidad comercial estaba en vía de concluirse.

La sección de “Catálisis aplicada” del INTEVEP había alcanzado el tamaño de un equipo respetable (unas cincuenta personas) y aspiraba a convertirse en Departamento lo que, en la estructura administrativa muy jerarquizada del INTEVEP, le daría un grado de libertad suplementaria en las orientaciones científicas. No obstante, en ese momento quedó expuesto el hecho que la industria venezolana sufría de una crisis financiera severa y se abrió un debate nacional respecto a la oportunidad de abrir el capital de las futuras refinerías a la participación extranjera. En ese contexto, se suspendieron los proyectos de construcción de una unidad de demostración del procedimiento HDH y lo mismo sucedió con la construcción de una instalación de conversión profunda de residuos en el sitio del complejo petroquímico de José.

Esas condiciones fueron analizadas también por la contraparte francesa, buscando definir un programa de investigación conjunto que tuviera un potencial de aplicación a largo plazo, excluyendo los desarrollos industriales a corto y mediano plazo, tanto para evitar herir la sensibilidad local como

para evitar la coexistencia en los laboratorios franceses de temas de investigación que implicaran a grupos petroleros competidores. El INTEVEP constituía uno de los empleadores naturales de los estudiantes graduados después que éstos recibían una formación en catálisis, pues concentraba la mayor parte de los medios de investigación aplicada en este ámbito. Como tal participaba en las comisiones examinadoras para la atribución de becas PCP. Los franceses deseaban una integración mucho más efectiva del INTEVEP como socio, especialmente en lo que se refería a temas de tesis, orientaciones y eventualmente al financiamiento. Precisamente en ese momento y en contraste con la labor que se había realizado hasta entonces, la industria petrolera venezolana decidió desvincularse del programa, calificó como autosuficiente para implementar sus programas de investigación, desarrollo y la preparación de los recursos humanos que pudieran hacerle falta. Posteriormente, esta decisión fue revisada y el INTEVEP ha seguido asociado.

A partir de los sucesivos informes de misión, testimonio del monitoreo permanente de los dos programas, es posible captar la dinámica de la evolución de los grupos participantes. Una evaluación de marzo de 1993 matiza los aspectos positivos con las siguientes observaciones: la estabilidad del equipo en su conjunto traducía una ausencia de reclutamiento para puestos estables de jóvenes investigadores. Eso hacía prever dos consecuencias negativas: el envejecimiento de la estructura, con un riesgo de reducción de la productividad y la imposibilidad de asegurar la continuidad del potencial de investigación. Se recomendaba a los responsables del programa explotar mejor los mecanismos ofrecidos por el CONICIT, como el programa del Investigador Nóvel (PIN); al mismo tiempo, se advertía que la reorientación de la química ambiental hacía recomendable re-examinar las estrategias de cooperación para preservar los logros y encontrar la mejor adecuación entre programas y estructuras (CNRS/ Comunidad Europea, por ejemplo). La importancia del PCP-Catálisis a nivel presupuestario debía tener como contrapartida una gran exigencia de resultados y más aún a nivel de una valorización conjunta con el PICS. Los acuerdos en curso de negociación aparecían como testimonio de esa voluntad de logro.

En 1994, en una evaluación de la Red PICS-PCP que desde 1992 se había formalizado como concentrada en la química fina, Gravelle argumentaba que la experiencia de la Red hacía evidente el interés de asociar un PCP y un PICS del CNRS por la mayor visibilidad del Programa respecto al CNRS, créditos de estímulo para los equipos franceses, etc. No obstante, no recomendaba fusionar, como había sido el caso en 1992, las dos estructuras de colaboración, pues se preveía que el nuevo PICS debía reunir no sólo a equipos de catálisis sino también a equipos de mineralistas y de química teórica y, en consecuencia, el carácter específico del PCP (formación en el ámbito de la catálisis) podría quedar oscurecido. El informe planteaba, en cambio, que el nuevo PCP de Catálisis se desarrollara en buen entendimiento con el nuevo PICS. Los grupos INTEVEP y TOTAL han sostenido estas acciones tanto a nivel financiero como de la cooperación. Del lado francés, ELF, BP Chemicals y Hoeschst han apadrinado las investigaciones. El proyecto “Agenda petróleo” de CONICIT también ha contribuido a reforzar el programa del lado venezolano.

Ya en las últimas reuniones del programa, los investigadores venezolanos manifestaron el interés de aumentar los nexos de articulación e integración incluyendo a otros grupos latinoamericanos con los que Francia tiene acuerdos bilaterales similares. El evento de catálisis organizado con Francia que tendrá lugar en Caracas en octubre del 2000 apunta en esa dirección, haciendo prever un grado más avanzado de coordinación, con nuevos participantes y nuevos temas y acciones, tanto entre los grupos de investigación nacionales (ya son diez las instituciones venezolanas que tienen grupos activos de catálisis) como entre los países de la región sudamericana que también

tienen relaciones de intercambio para el entrenamiento y la investigación con Francia (Argentina, Brasil y Colombia) y eventualmente Chile, y Uruguay.

Discusión

La colaboración entre Venezuela y Francia en catálisis es excepcional desde varios puntos de vista. Estamos en presencia de un programa de colaboración que probó varias fórmulas institucionales de cooperación, primero informal, después con formación conjunta como el PCP, o únicamente con intercambio de investigación como el PICS. La colaboración ha tenido una duración prolongada y ha abarcado a un número importante de participantes de este campo cognoscitivo. Los efectos de esta colaboración son visibles en varias dimensiones: los objetivos y las temáticas, la coordinación, el interés del estudiante, los usos posibles de los resultados y la influencia de la colaboración en términos más generales.

- Cómo se deciden los objetivos y los temas del programa?

Como hemos visto, los pares de la colaboración entraron en contacto muchos años atrás y un núcleo central en los dos países ha continuado controlando en gran medida la colaboración. Eso parece haber ocurrido por una combinación de factores: el centro de formación más desarrollado en Venezuela ha sido el de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la UCV y continúa siendo el que mayor número de egresados produce. Del lado francés, también las universidades de Poitiers y los centros de investigación en Lyon concentraron las relaciones con Venezuela a partir de sus programas de formación a nivel de maestría y doctorado. Los profesores y ex estudiantes, al desarrollar vínculos de trabajo y de confianza, reprodujeron esos vínculos en el tiempo. Sin embargo, lo estrecho del grupo central ha ido imponiendo límites, excluyendo posibles extensiones del programa hacia otros centros de investigación, en particular en Francia. Los participantes franceses que no forman parte del núcleo central se han quejado varias veces que sus colegas (franceses) no dejan más libertad a nuevas oportunidades. Del lado venezolano, aunque también se oyó esta queja, los grupos alternativos son menos numerosos y por lo tanto la capacidad de diversificar el universo del programa parece haberse visto algo limitada en el pasado, pero con condiciones de modificar esa situación sin traumas.

Como puede esperarse de un programa que lleva 14 años, los temas de la colaboración han ido cambiando. Sin embargo, los desarrollos de la disciplina en el ámbito internacional llevan a pensar que deben hacerse algunos cambios más profundos en el corto plazo.

Temática de los convenios PCP y PICS en el área de la catálisis

1987: Primer PCP-Catálisis. Estudio de sistemas (procesos) que utilizaban catalizadores en fase heterogénea generados en base a zeolitas modificadas.

1988: Primer PICS-Catálisis sobre valorización de metano en fase homogénea o mediante el uso de catalizadores soportados.

(Una temática común a ambos programas en esta primera etapa de la cooperación bilateral fue el estudio del proceso HDS debido a la necesidad de avanzar en el conocimiento de esta área debido al tipo de crudos que se procesaban en ambos países).

1992: acuerdo de cooperación (PCP + PICS) para trabajar en Química Fina (catálisis de procesos relevantes a la obtención selectiva de productos que cayeran dentro de este rango de producción mundial).

1995: se consideró conveniente retomar parcialmente el camino inicial y se aprobó una nueva orientación para los dos programas:

1996: PICS: Tratamiento de crudos pesados y extrapesados.

1997: PCP: procesos catalíticos relacionados con petroquímica y refinación de petróleo.

El interés del estudiante: Los investigadores franceses hoy reconocen que en general antes aceptaban a los estudiantes extranjeros sin preguntarse lo que éstos deseaban hacer. Las relaciones fueron madurando, sin embargo, y la recepción se hace hoy más en función de lo que el candidato quiere hacer. Se establece un contacto informal preliminar con el candidato y sus tutores en el país de origen de los mismos y el hecho que el programa esté estructurado en términos de una temática amplia pero lo suficientemente específica, permite optimizar los intereses y beneficios de las partes. Buena parte del interés de programas como el PCP y el PICS radica, entonces, en que la formación de la futura generación de investigadores en un campo dado se da dentro de un marco organizado. La tabla siguiente recoge el número total de intercambios en el programa de destinado a la formación (PCP). Debemos hacer la salvedad que de ningún modo el programa incluye la totalidad de los catalíticos que se formaron en Francia pues hay una cantidad que se formó en la etapa de contactos previa a la firma del primer convenio. Podemos afirmar entonces que el programa de investigación conjunta fue un verdadero polo de formación y las consecuencias de este esfuerzo quedan todavía por demostrarse.

Tabla 2: Intercambios en el marco del PCP-Catálisis

Año	DOCTORADO Estudiantes (t- meses)	POST-DOCTOR Profesores (t- meses)	INVESTIGACIÓ N (a)	TOTALES personas (t)
1988	3 (7)	1 (6)	**	4 (13)
1989	1 (12)	4 (33)	**	5 (45)
1990	3 (13)	3 (9)	**	6 (22)
1991	7 (43)	*	**	7 (43)
1992	8 (42)	1 (7)	**	9 (53)
1993 (b)	4 (24) 1 (12)	4 (8)	5 (2) 4 (2)	18 (52)
1994 (b)	2 (15) 1 (6)	1 (0.5)	2 (1,5) 3 (1,5)	9 (25)
1995 (b)	4 (18) 1 (12)	2 (13)	** 5 (2)	12 (45)
1996 (b) (1er semestre)	3 (13) 1 (3)	1 (4)	1 (0,5)	6 (20,5)

(a) La primera fila se refiere a los intercambios de venezolanos hacia Francia mientras que la segunda de franceses a Venezuela.

- (b) Durante los años 1988 a 1992 el financiamiento de las estadías de los investigadores venezolanos en Francia y viceversa fueron subvencionadas por ellos mismos a través de otro tipo de programas (por ejemplo, CDCH-UCV, S1-CONICIT, etc.)

Fuente: CONICIT, Caracas.

Aplicación de los resultados

Varios interlocutores han notado que pocos trabajos realizados en el marco de la red de investigación en catálisis en Química Fina han recibido apoyo directo de la industria. Las raras excepciones conciernen la participación del INTEVEP en el financiamiento de becas de tesis y uno que otro trabajo que se ha apoyado por el IFP en Francia. Esta situación se explica, del lado francés, por la dificultad de obtener el apoyo industrial en el ámbito de la química fina, a causa del problema agudo de propiedad industrial y, del lado venezolano, por el débil interés de los industriales venezolanos por este tipo de química. En efecto, contrariamente a las esperanzas expresadas cuando se renovó el PCP en 1992 en el clima suscitado por la firma del primer convenio BID-CONICIT sobre nuevas tecnologías, la química fina no se desarrolló en Venezuela, y no es susceptible de desarrollarse en un futuro próximo, por el control de los mercados de productos terminados por los productores actuales. Los temas tratados en el PCP, que están en el límite de la química fina: hidrogenación de ciclos aromáticos de moléculas nitrogenadas, activación de alcanos, y que aunque muy aguas arriba se acercan a algunos procesos de la química petrolera, se han beneficiado indirectamente del apoyo aportado por las sociedades petroleras a estos ámbitos.

Sin embargo el interés industrial de un programa en una área como la catálisis radica en algo más difícil de medir: la capacidad que se obtiene de analizar y desarrollar un conocimiento tecnológico muy específico. Los ejemplos de desarrollos tecnológicos en la industria petrolera brasileña demuestran que un país en desarrollo puede llegar a la punta de la tecnología con un esfuerzo coordinado con socios extranjeros, como lo demuestran la exploración en grandes profundidades (Furtado 1998) o la creación de la empresa de catalizadores de Rio de Janeiro (Antunes et al. 2000). La investigación en catálisis permite a la industria estar informada de los cambios en la ciencia, de los últimos avances científicos. La presencia de doctorantes ayuda a mantener un nivel de competencia en el campo. Se ha creado, de este modo, un *pool* de competencias relativamente barato. Queda a la industria el utilizarlo de manera eficiente.

La coordinación compartida del Programa

La colaboración que hemos presentado, en sus varias modalidades, ha tenido siempre a administradores científicos experimentados. En Francia como en Venezuela, su papel en buena medida fue proteger al programa de los vaivenes de los procesos políticos nacionales, como un espacio en el cual el objetivo fundamental era lograr que la cooperación internacional funcionara exitosamente. Estas personas han tratado, en los distintos momentos, de resolver los problemas dentro del propio marco del Programa, evitando que entraran en la arena nacional, donde su poder y control se hubieran visto reducidos. En la tarea parecen haber tenido un grado considerable de autonomía, lo cual no es sorprendente, ya que mientras un programa es percibido como haciendo ciencia básica los gobiernos que participan de la asociación bilateral suelen dejar que los científicos propongan proyectos de investigación que contribuirán a formar capacidades,

a reforzar una imagen de liderazgo científico y político, a aumentar el prestigio y a reforzar alianzas. Sólo cuando el programa se acerca a áreas estratégicas de investigación, los coordinadores se encuentran restringidos por las políticas nacionales y pierden autoridad para la toma de decisiones fundamentales. En el caso de la catálisis esta restricción se hizo patente en algunos momentos en que los intereses de las industrias petroleras nacionales chocaron con los de los integrantes del PCP-Catálisis.

Conclusión

El programa de colaboración que hemos presentado ha tenido una historia bastante larga y se concretizó en áreas estratégicas desde el punto de vista económico pero también desde el punto de vista geo-estratégico, dada la importancia del recurso petrolero. En años recientes se ha reafirmado la voluntad política de desarrollar la cooperación. La forma en que se deba hacer es siempre producto de un complejo conjunto de factores y se entiende de distintas maneras según la posición de los actores involucrados.

Para las autoridades francesas, esta cooperación debería servir de ejemplo privilegiado de análisis, para elaborar una necesaria renovación de la política de colaboración con países en vía de desarrollo. Se plantean los problemas de la manera en que se dan las colaboración, el nexo con intereses comerciales, la mejor manera de institucionalizar evaluaciones válidas de dichos programas. Hemos verificado la relativa autonomía de los científicos y el manejo por ellos de los programas internacionales. Actúan en nombre de su país, respetando la calidad científica de sus pares. En algunos casos parece haber persistido alguna forma de relación “profesor-discípulo”, en otros la interacción es con “homólogos del otro país”, dependiendo de la historia institucional de ambas partes. Pensamos que hoy día, las distintas modalidades de cooperación necesitarían una evaluación en profundidad.(12)

Para las autoridades venezolanas también sirve este ejemplo como programa de referencia ya que se observan varias modalidades de vinculación simultáneas o consecuencia de acciones PCP. Se constituyeron vínculos asociativos especiales con instituciones en las que los investigadores locales estudiaron en el país socio y a través de la interacción en el PCP se facilitó y estimuló la participación de investigadores venezolanos en programas internacionales de investigación y fomento, como por ejemplo los programas de la Unión Europea, con la intervención de terceros países. Este ejemplo muestra una vez más que la red a que los investigadores pueden recurrir es probablemente más importante que los resultados de investigación mismos. Igualmente podrían recurrir a esta red las empresas públicas o privadas para utilizar eficazmente este pool de competencias de muy alto nivel.

Finalmente, con relación a los investigadores sería necesario que se tomara en cuenta la consecuencia de la desnacionalización del trabajo científico y por extensión de la vida interna de organizaciones como las universidades, los centros públicos de investigación, los laboratorios de I&D así como los cambios profundos en la naturaleza misma del trabajo científico ocurridos en las últimas décadas y en el significado consiguiente de lo que es ser un científico hoy. Las colaboraciones internacionales son algo más que una vía de escape hacia el prestigio que da el reconocimiento a nivel internacional. En efecto, nos parece que la validez de la acción de los investigadores venezolanos, el hecho de que hayan podido utilizar el recurso estratégico que fueron los programas PCP y PICS, en conjunto con sus colegas francesas, muestra que la

eficiencia de los programas se da cuando las acciones permiten *articular* una acción a nivel nacional, dentro de las instituciones científicas y políticas nacionales con una acción a nivel internacional. De este modo, comprobamos un resultado detectado por otros investigadores utilizando datos bibliométricos, de la necesaria articulación de lo nacional y lo externo (Eisemon & Davis 1989; Russell 1998). Un programa de colaboración que solamente permitiera la proyección en el exterior de los investigadores venezolanos, hubiera sido un fracaso y no hubiera tenido una resonancia tan importante para los colegas extranjeros, los políticos y los industriales. Por lo tanto, es porque contribuye a la formación de una comunidad científica nacional que esta labor dio resultados tan comprobados. Se ha dicho que la emergencia y fortalecimiento de una comunidad científica aumenta en muchos aspectos la capacidad particular de colaboración tanto del mundo industrializado como en desarrollo (Gaillard, Krishna et Waast 1994). El programa que examinamos aquí es un excelente ejemplo de esta afirmación.

Traducido del inglés

Notas

1. Para la realización del estudio nos hemos basado en la extensa base de informes evaluativos del Programa que fuimos reuniendo tanto en la Embajada Francesa en Caracas, como entre los coordinadores nacionales del Programa y las que nos proporcionó el Sr. Roques, coordinador general de los PCP en Pau; visitas a los principales centros involucrados y entrevistas a los participantes en Francia y Venezuela.

2. Ceruti menciona la observación de un investigador industrial: “Procedures for catalyst manufacturing are usually developed in an *empirical way*, through time-consuming and costly work, though some attempts of a *scientific approach* begin to appear in the literature”.

3 No queremos retomar aquí el debate teórico sobre la utilidad de la ciencia, que hemos tratado en otros lugares: Arvanitis 1996, Arvanitis & Durtrenit 1997. Vessuri 1990, 1995.

4. Para dar una idea de la presencia de la cooperación francesa en esos años, puede señalarse que sólo el IUT-RC, entre 1971 y 1981, envió a Francia 304 becarios sobre un total de 430 repartidos entre la propia Venezuela, Estados Unidos, Inglaterra y Canadá, es decir el 71%.

5. *Coopérants (Volontaires du Service National* o VSN eran jóvenes universitarios que hacían pasantías como docentes y asistentes de laboratorio en el extranjero en el marco de la Cooperación Francesa, como parte de su servicio militar.

6. La historia de Elf y de Elf Aquitaine de gas, especialmente después de la pérdida de Argelia es muy instructiva al respecto. Francia decidió en ese entonces convertirse en un país petrolero. Con la privatización de Elf, el modelo nacional se perdió. Recientemente, la compra de Elf por Total-Fina eliminó las últimas veleidades del Estado francés para desarrollar un modelo nacional de la industria petrolera.

⁷. El *Diplôme d'Etudes Approfondies* es un diploma obligatorio en Francia para ingresar al doctorado.

8. El PICS es un programa de cooperación para la investigación del CNRS, donde la colaboración es pareja, complementaria. Se otorgan por tres años y el financiamiento de cada parte se obtiene en cada país. El programa conjunto cubre los gastos de la cooperación: viajes, viáticos, comunicación, etc.

9. ste último se retiró invocando problemas vinculados a la «supuesta» absoluta confidencialidad necesaria para los resultados de interés para esta industria.

10. dos grandes temas de investigación estaban ligados a la química petrolera y a los intereses estratégicos tanto venezolanos como franceses: 1) activación de la vinculación C-H del metano y de los alcanos por catálisis heterogénea y homogénea, y 2) activación de la vinculación C-N de los hidrocarburos nitrogenados en vista del tratamiento de crudos pesados.

11. entablemente el financiamiento de la ciencia en Venezuela no mantuvo una tasa de crecimiento constante a lo largo de la década y se mantuvo en el orden del 0.30% al 0.50% del PIB desde 1980.

12. ticularmente en el caso de la catálisis entre Francia y Venezuela, es importante la evaluación dado que se esta pensando reemplazar la formula del PCP por la de programas cooperativos más tradicionales en su funcionamiento (ECOS-NORD) en donde se perdería tanto el aspecto de evaluación continua como la voluntad de demostrar la conexión entre el trabajo científico y los intereses productivos y económicos.

13. s de producción del CD-ROM Pascal. Se trata de la respuesta a la interrogación CATALY* sobre los CD-ROM en las palabras claves, títulos, y resúmenes de los documentos. No se puede considerar exhaustiva esta interrogación ya que PASCAL es una base de datos pluridisciplinaria. Su ventaja es que registra los documentos con una codificación de áreas por las palabras claves de manera sistemática. La base tenía un cierto sesgo hacia producciones en francés hasta el inicio de los años 1990, que se corrigió para reflejar mejor la producción en inglés. La base registra para este período 431.422 artículos científicos y 34.684 resúmenes, ponencias, artículos de “review” o actas de congresos.

Referencias

AMBASSADE DE FRANCE/CONICIT-VENEZUELA. 1999. *Programmes de Coopération « Post-gradués » PCP. France-Vénézuéla 1999*. Caracas. CONICIT.

ANTUNES, A. M. S., C. M.GADEA DE SOUZA, C. I. CHAMAS & E. F. SOUSA-AGUIAR. 2000. “The Brazilian FCC catalyst plant: an example of a successful joint venture between Brazil and Holland, bringing about technological innovation.” *Journal of Technology Transfer*, March, 2000.

ARVANITIS, R. 1996. *La relación incierta. Investigación aplicada y desarrollo en Venezuela*. Caracas, Fondo editorial FINTEC. 373 p.

ARVANITIS, R., J. GAILLARD, Y. CHATELIN, J.B : MEYER, B. SCHLEMMER ET AL. 1995. "El impacto de los fondos europeos de apoyo en la cooperación científica con países en desarrollo." *Interciencia* 20(2): 76-82.

ARVANITIS, R. y G. DUTRÉNIT. 1997. "La investigación tecnológica básica : ¿ciencia pública o ciencia privada?" *Revista Mexicana de Sociología (special issue directed by Rosalba Casas)* 59(3): 83-108.

BREYSSE, M. 1998. "Message du nouveau président". *Lette d'Information. Division Catalyse*, Société Française de Chimie. Paris, abril.

CERUTI, L.1999. "Historical and Philosophical Remarks on Ziegler-Natta Catalysts. A Discourse on Industrial Catalysis." *Hyle - An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 5 (1): 3-41. Accessed through the web.

EDGE, D. O. 1979. "Quantitative Measures of Communication in Science:A Critical Review." *History of Science* 17: 102-34.

EISEMON, T.O. & C.H. DAVIS. 1989. "Publication Strategies of Scientists in Four Peripheral Asian Scientific Communities: Some Issues in the Measurement and Interpretation of Non Mainstream Science," in P. Altbach, C. Davis, T. Eisemon, S. Gopinathan, H. Hsieh, S. Lee, E. Pang, and J. Singh, Eds, *Scientific Development and Higher Education in Newly Industrialized Countries*. New York and London: Praeger Publishers.

FURTADO, A. 1998. "Technological competition in deep water: the success of a company in a country in the periphery." *Science, Technology & Society* 3(1): 75-109.

FURTADO, A. 1994. "Le système d'innovation français dans l'industrie pétrolière". (Rapport de recherche,). Paris, CIRED, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.

GAILLARD, J., V.V. KRISHNA & R. WAAST 1994. (editors) *Scientific Communities in the Developing World*. New Delhi/Thousand Oaks/London, Sage.

GAILLARD, J. 1999. *La coopération scientifique et technique avec les pays du sud. Peut-on partager la science?* Paris, Karthala.

HICKS, D. y S.J. KATZ 1996. "Where is science going ?" *Science, Technology, and Human Values* 21(4): 379-406.

LEWISON, G., A.FAWCETT-JONES y C. KESSLER 1993. "Latin American Scientific Output 1986-1991 and International Co-Authorship Patterns." *Scientometrics* 27(3): 317-336.

NATIONAL SCIENCE BOARD. 2000. *Science and Engineering Indicators 2000*. NSB-00-01, NSF, Arlington, VA.

NYE, M.J. 1986. *Science in the Provinces: Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930*. Berkeley: University of California Press.

OST 1999. *Science et Technologie. Indicateurs 2000*. Rapport de l'Observatoire des Sciences et des Techniques. Paris, Economica. 463 p.

RUSSELL, J. M. 1998. *Collaboration and Research Performance in Science : A Study of Scientists at the National University of Mexico (UNAM)*. Ph.D. City University, London.

SCHOLTEN, J.J.F., Ed. (1994) *A Short Story of the Dutch School of Catalysis*. The Hague, Royal Netherlands Chemical Society, pp. 137-159.

SCHOTT, T. 1993. World science: Globalization of institutions and participation.” *Science, Technology, and Human Values* 18: 196-208.

VEDRINE, J. 1998. “Message du président sortant.” *Lette d'Information. Division Catalyse*, Société Française de Chimie. Paris, avril.

VESSURI, H. 1990. “O inventamos o erramos”. The power of science in Latin America”, *World Development*, 18 (11): 1543-1553.

VESSURI, H. 1995. *La Academia va al mercado. Relaciones de científicos académicos con clientes externos*. Caracas, Fondo Editorial FINTEC. 378 pp.

VESSURI, H. & CANINO. 1996. Sociocultural Dimensions of Technological Learning. *Science, Technology & Society*. New Delhi, 1 (2):333-350. July-December.

Nota biográfica

Gilberto C. Gallopín, ecologista, Consejero Regional de Política del Medio Ambiente, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Chile. Email: ggallopin@eclac.cl

Silvio Funtowicz, matemático, Director Científico, Institute of Systems, Informatics and Safety of the European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italia. Email: silvio.funtowicz@jrc.it

Martin O'Connor, economista, profesor, Universidad de Versailles, St Quentin-en-Yvelines, Francia.

Jerry Ravetz, crítico de ciencia y tecnología contemporáneas, consultor independiente en Londres. Email: Jerry_Ravetz@lineone.net

Una ciencia para el siglo XXI: del contrato social al núcleo científico

Gilberto C. Gallopín, Silvio Funtowicz, Martin O'Connor, Jerry Ravetz

Introducción

Hay un sentimiento creciente en numerosos sectores de que la ciencia no está respondiendo adecuadamente a los desafíos de nuestro tiempo, especialmente a aquellos que nos plantea la búsqueda de un desarrollo sostenible. No incluimos en nuestro planteamiento los ataques a la ciencia provenientes de sectores anticientíficos, sino únicamente las críticas y las quejas expresadas por quienes apoyan el papel de la ciencia como instrumento de comprensión del mundo y de solución de problemas prácticos.

El reconocimiento de que se requiere un nuevo "Contrato social para la ciencia" con el fin de abordar una nueva situación mundial, que tratar los asuntos como se viene entendiendo en la ciencia ya no bastará, y que el mundo de finales del siglo XX es un mundo fundamentalmente diferente de aquel en que se ha desarrollado la empresa científica actual, proviene del establecimiento científico predominante (Lubchenko, 1997). El desafío de centrarse en los vínculos entre los sistemas sociales, políticos, económicos, biológicos, físicos, químicos y geológicos es considerado un imperativo de nuestro tiempo. Se buscan explicaciones dinámicas de cruces sistémicos ahí donde antes predominaban modelos estáticos y reduccionistas (como ha puesto de relieve la Junta Directiva de AAAS, Jasanoff et al, 1997).

La insatisfacción con los estilos actuales de investigación se está manifestando en numerosos sectores. Por ejemplo, el Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (GCI AI) ha declarado que "actualmente, no existe un modelo de investigación aceptado que abarque las dimensiones físicas, biológicas y humanas de la sostenibilidad [de la agricultura] a largo plazo. El desarrollo de un modelo de este tipo es un objetivo de importancia verdaderamente internacional" (GCI AI, 1993, p. 8).

La Conferencia Mundial sobre la Ciencia, bajo el epígrafe "Una ciencia para el siglo XXI" se celebró en Budapest a mediados de 1999, con más de 1800 delegados de 155 países. Dos documentos fundamentales expresan los resultados de la Conferencia: la Declaración sobre la ciencia y el uso del conocimiento científico y el Programa marco de acción para la ciencia (CIUC, 1999)¹.

Estos documentos abundan en la necesidad de establecer una nueva relación entre ciencia y sociedad, y se pronuncian a favor de un refuerzo de la educación y la cooperación científicas, de la necesidad de relacionar el conocimiento científico moderno con los conocimientos tradicionales, de la necesidad de la investigación interdisciplinaria, de apoyar a la ciencia en los países en desarrollo, y de la importancia de abordar la ética en la práctica de la ciencia y en el uso de los conocimientos científicos, además de otros temas importantes.

La Conferencia se pronunció a favor de un reforzamiento y de una democratización de la ciencia, y puso de relieve la necesidad de un nuevo papel para la ciencia en la sociedad, si bien guardó un notorio silencio (salvo una mención de la necesidad de integración y, sobre todo, de la investigación interdisciplinaria entre las ciencias naturales y sociales) sobre la posibilidad de que la propia ciencia también tenga necesidad de un cambio.

Al leer los documentos de la Conferencia, es difícil escapar a la sensación de que su principal mensaje es que los problemas de la ciencia residen fundamentalmente en la manera en que la ciencia es utilizada, mal utilizada y, sobre todo, subutilizada, pero que el modelo de la ciencia y su práctica están bien tal como están, para el nuevo siglo como para el anterior, y para el desarrollo sostenible, el entendimiento fundamental y la solución de problemas prácticos.

Creemos que es oportuno y fructífero pensar que la corriente predominante de la ciencia (su método y su práctica) es un instrumento guía para el logro del desarrollo sostenible. No sostenemos que toda la ciencia necesite un cambio, pero sí pensamos que es necesario analizar hasta qué punto (y en qué situaciones) los problemas con la ciencia son producto de la no aplicación (o mala aplicación) de las reglas de investigación existentes, y hasta qué punto (y en qué situaciones) las propias reglas científicas tienen que ser modificadas, o incluso reemplazadas. Todo esto sin ir más allá de la esencia del pensamiento científico adoptado por la Declaración de la Ciencia de la Conferencia Mundial (CIUC 1999), como "la capacidad de analizar los problemas desde diferentes perspectivas y buscar explicaciones de los fenómenos naturales y sociales, sometidos siempre a análisis críticos". Nosotros planteamos que esta necesidad es de carácter epistemológico, basada en los propios desarrollos científicos recientes, bastante distantes de las ideas (también relevantes) basadas en valores sociales.

Una ciencia en evolución

La ciencia ha evolucionado constantemente a lo largo de su historia. Hasta la Segunda Guerra mundial, la forma predominante (especialmente en la conciencia de la ciencia) eran la investigación "académica", impulsada por la curiosidad. Después, la forma predominante se volvió "industrializada" (Ravetz 1996), también descrita como "incorporada" (Rose y Rose 1976). En éstas, la investigación está "orientada por una misión" y los investigadores dejan de ser artesanos independientes y se convierten en empleados. Actualmente la investigación

impulsada por la curiosidad se ha visto totalmente marginada. Su forma asociada de propiedad intelectual, la "información pública", está siendo rápidamente marginada de los principales campos (como la biotecnología) por los "conocimientos corporativos".

Los productos de la investigación y los medios de comunicación también están sufriendo transformaciones. La antigua distinción entre "descubrimiento" e "invención", fundamento del sistema de patentes, ha sido eliminado. No sólo se están patentando formas de vida al por mayor, sino que también la identificación de una posible función para una secuencia de ADN basta para que se cuente cómo "invención", propiedad de quien la reclame como propia. Además, las publicaciones tradicionales de revisión por los pares están siendo desplazadas como principal fuente de comunicación. Los resultados quedan registrados en consejos de asesoría, en "libros grises", o se mantienen como materia confidencial dentro de las instituciones o incluso en total secreto bajo el principio de "confidencialidad entre abogado y cliente". Con la tradicional revisión de los pares como norma, las tareas para asegurar la calidad de estos nuevos procesos y productos son prácticamente irreconocibles. Se ha generado una literatura crítica, y algunos autores dirigen las críticas contra los científicos (Huber 1991), y otros evalúan los problemas suscitados por el nuevo contexto (Jasanoff 1990, Crossen 1994).

Cuadro 1.: Comparación de las dos corrientes de la ciencia ecológica.

ATRIBUTO	ANALÍTICA	INTEGRADORA
Filosofía	<ul style="list-style-type: none"> •estrecha y bien definida •Refutación por experimento •frugalidad, la regla 	<ul style="list-style-type: none"> •amplia e indagadora •múltiples líneas de pruebas convergentes •objetivo sencillez indispensable
Percepción de la Organización	<ul style="list-style-type: none"> •interacciones bióticas •medio ambiente fijo •escala única 	<ul style="list-style-type: none"> •interacciones biofísicas •autoorganización •múltiples escalas con interacciones entre escalas
Causación	<ul style="list-style-type: none"> •única y separable 	<ul style="list-style-type: none"> •múltiple y sólo parcialmente separable
Hipótesis	<ul style="list-style-type: none"> •hipótesis única y ningún rechazo de hipótesis falsas 	<ul style="list-style-type: none"> •hipótesis múltiples y en competencia •separación entre hipótesis en competencia
Incertidumbre	<ul style="list-style-type: none"> •eliminar la incertidumbre 	<ul style="list-style-type: none"> •incorporar la incertidumbre
Estadísticas	<ul style="list-style-type: none"> •Estadísticas estándar •experimentales •Cuidado con los errores Tipo I (en las pruebas de hipótesis, rechazar la proposición cuando es verdad). 	<ul style="list-style-type: none"> •estadísticas no estándar •Cuidado con los errores Tipo II (no rechazar la proposición cuando es falsa).
Objetivo de la evaluación	<ul style="list-style-type: none"> •evaluación de los pares para alcanzar un acuerdo unánime final 	<ul style="list-style-type: none"> •evaluación de los pares, juicio para alcanzar consenso parcial
El peligro	<ul style="list-style-type: none"> •respuesta perfectamente correcta 	<ul style="list-style-type: none"> •pregunta perfectamente

	para la pregunta equivocada	correcta pero respuesta inútil
--	-----------------------------	--------------------------------

Fuente : Holling (1998)

Actualmente, se observa una diversificación paralela en los tipos de conocimiento-producción que se aceptan como legítimos. La democratización del conocimiento se extiende actualmente más allá de los jurados que evalúan competentemente la calidad de las pruebas técnicas (Jasanoff 1998) e incluye a aquellos que utilizan grupos de interés específicos en la red para controlar ciertos aspectos de sus males (enfermedad, contaminación, opresión, discriminación, explotación), antiguamente calificados de esotéricos y propiedad de especialistas. Además, se reivindica algún tipo de conocimiento en contextos aún más diversos, como entre los pueblos indígenas, y en las terapias complementarias y "tradicionales". Y estas exigen un creciente apoyo comercial y político de diversos públicos. La ciencia moderna, con su metodología característica y su ubicación social, está volviendo a situarse como una parte de este todo enriquecido.

Aquellos cambios en la ciencia no han sido independientes de los procesos históricos en el campo económico, tecnológico, social, cultural y medioambiental. Los cambios reflejan e influyen en la práctica social y en la imagen pública de la ciencia y el problema de la "garantía de calidad" de la perspectiva y de la investigación científica. Como respuesta a la necesidad de criterios socialmente relevantes que garanticen la calidad ha surgido la propuesta de una "ciencia posnormal" (Funtowicz y Ravetz 1992, 1993,1999).

Sin embargo, en algunos casos los cambios también afectan a las reglas científicas y a los criterios de verdad fundamentales. Un ejemplo es la tensión y el predominio cambiante de las corrientes analítica e integradora en la ciencia ecológica (Holling 1998). Las diferencias entre ambas abarcan supuestos básicos sobre la causalidad, los criterios de verdad y la aceptabilidad epistemológica, así como los criterios de evaluación, entre otros (ver Cuadro 1).

La corriente analítica se centra en la investigación de las partes, y surge de las tradiciones de la ciencia experimental, que se centra en un objeto lo suficientemente estrecho con el fin de plantear hipótesis, recopilar datos y diseñar nuevas críticas para rechazar hipótesis inválidas. Debido a su base experimental, normalmente, la escala escogida tiene que ser pequeña en el espacio y breve en el tiempo.

La premisa de la corriente integradora es que el conocimiento del sistema siempre es incompleto. La sorpresa es inevitable. Rara vez habrá unanimidad entre los pares, sólo una línea cada vez más creíble de argumentos probados. No solo es incompleta la ciencia, el propio sistema es un blanco en movimiento, que evoluciona debido a los impactos de la gestión y de la progresiva expansión de la escala de influencias del ser humano sobre el planeta.

Aquellos aspectos cambiantes (procedimientos fundamentales, práctica social, imagen pública, garantía de calidad) son sumamente importantes para la investigación relacionada con las políticas, regidas por cuestiones políticas como la concentración de contaminantes permitida, los riesgos para la salud y, desde luego, la producción y el uso de la ciencia para un desarrollo sostenible, resumido como "ciencia de sostenibilidad".

La búsqueda del desarrollo sostenible plantea nuevos y profundos desafíos a las maneras en que definimos los problemas, identificamos las soluciones y llevamos a cabo las acciones.

A pesar de que, históricamente, la teoría y la práctica científica han tenido mucho éxito en la solución de lo que Weaver (1948) llamaba "problemas de sencillez" y problemas de "complejidad desorganizada", a veces se requieren cambios tanto en la teoría y práctica de la ciencia como en su utilización en la elaboración de políticas con el fin de abordar muchas situaciones actuales y emergentes más complejas y "problemáticas", así como asuntos característicos de los problemas de la "complejidad organizada".

La falta de adecuación del enfoque científico tradicional se ha revelado con claridad en el episodio de la enfermedad de las "vacas locas"³, una situación "problemática" paradigmática. Durante años, los investigadores y asesores acreditados aseguraron al gobierno del Reino Unido que la posibilidad de transferencia del agente infeccioso a los seres humanos era muy pequeña. No se dieron cuenta de los elementos en juego en la decisión implícitos en la política, donde la alarma pública y el gasto del gobierno se percibían como los principales peligros. El riesgo de una epidemia entre los humanos (con sus consiguientes costos) fue descartado por los expertos y, a la larga, oficialmente negado. Cuando los casos humanos de la neovariante ECJ² fueron confirmados y relacionados con la ECJ, expertos y funcionarios reconocieron que una epidemia de esta enfermedad degenerativa era un "riesgo no cuantificable". La situación se descontroló y la reacción de los consumidores amenazó no sólo la carne del Reino Unido, sino también a la industria cárnica de toda Europa.

A estas alturas tenía que adoptarse una decisión "drástica", a propósito del número de cabezas de ganado que se habría de sacrificar, cuya base era un cálculo muy "moderado" del número de cabezas que sería necesario sacrificar para devolver la seguridad a los consumidores de carne. Al mismo tiempo, los críticos independientes, que habían sido muy mal acogidos en el pasado, fueron admitidos en el diálogo. Sin desear de ninguna manera ese resultado, el Ministerio de Agricultura del Reino Unido había creado una situación de extrema incertidumbre del sistema, de grandes decisiones en juego y una comunidad de pares ampliada y legitimada (Funtowicz et al, 1999).

Todos estos cambios se pueden entender sistémicamente, como parte del carácter cambiante de la ciencia, y de nuevas contradicciones en su interior. No es para nada casual que el estilo reductivista extremo y analítico debería ser el de la investigación al servicio de los "conocimientos corporativos", porque de esa manera los aspectos contextuales de la ciencia, sobre todo sus efectos en el medio ambiente humano y natural, pueden ser considerados como "factores externos" con que los reguladores y los éticos tendrán que ponerse al día cuando puedan. Al contrario y como oposición, una nueva conciencia de la ciencia, sistémica y humanística, que asimila la incertidumbre y los compromisos con los valores y que abarca las comunidades ampliadas de pares, está asumiendo la causa del "conocimiento público", justo cuando el sector académico está siendo reducido a la impotencia. El problema es más claro en casos como los organismos genéticamente modificados, donde grandes incertidumbres medioambientales son ignoradas o reconocidas, y también en la ingeniería biomédica, donde la "salud" no es más que una enfermedad curada, y el tratamiento de los riesgos médicos y morales está igualmente polarizado entre las partes en debate.

La nueva situación

La actitud predominante está arrojando insuficiencias críticas. Se empieza a reconocer como no accidental que en varios casos importantes, el propio éxito de los enfoques clásicos compartimentalizados ha provocado la agravación de los problemas medioambientales y de desarrollo que han sido abordados. Se introduce una incertidumbre fundamental debido a nuestra comprensión limitada de los procesos humanos y ecológicos, al indeterminismo intrínseco de los sistemas dinámicos complejos (entre ellos los componentes naturales, los fabricados por el hombre y los humanos) y por incontables elecciones y objetivos humanos. Por otro lado, hay importantes diferencias en el contexto histórico y la dinámica actual en comparación con los últimos decenios.

Por un lado, el mundo experimenta actualmente un periodo de extraordinarias turbulencias que reflejan el nacimiento y la intensificación de profundos cambios económicos, sociales, políticos y culturales relacionados con la actual revolución técnico económica. Además, la velocidad y la magnitud del cambio global, la interconexión creciente de los sistemas sociales y naturales a nivel planetario, y la creciente complejidad de las sociedades y de su impacto en la biosfera, da como resultado un alto nivel de incertidumbre y de impredecibilidad, que plantean nuevas amenazas (y también nuevas oportunidades) para la humanidad.

Por otro lado, las tendencias actuales son insostenibles (tanto ecológica como socialmente). Se ha reconocido oficialmente la necesidad de un cambio de dirección en la Cumbre de la Tierra, celebrada en junio de 1992. Sin embargo, aún no se ha definido claramente la nueva dirección y la mayoría de los debates y recomendaciones siguen estando muy compartimentalizados.

La complejidad de las situaciones y problemas ha aumentado rápidamente en los últimos decenios (Gallopín 1999, Munn et al. 1999). Esto se debe a diversas razones, como las siguientes.

Cambios ontológicos: los cambios provocados por el hombre en la naturaleza del mundo real, que avanzan a ritmos y escalas sin precedentes y cuyo resultado también es la creciente interconexión e interdependencia en numerosos niveles. Las moléculas de dióxido de carbono emitidas por la quema de combustibles fósiles (sobre todo en el norte) se unen con las moléculas de dióxido de carbono producidas por la deforestación (sobre todo en el sur) y provocan un cambio global del clima. Una crisis económica en Asia repercute en el sistema económico global y afecta a países muy distantes.

Cambios epistemológicos: cambios en nuestra comprensión del mundo relacionados con la conciencia científica moderna de la conducta de los sistemas complejos, entre ellos el reconocimiento de que lo no predecible y la sorpresa quizá se encuentren en los tejidos mismos de la realidad, no sólo en el nivel microscópico (es decir, el principio de incertidumbre ya conocido de Heisenberg) sino también en el nivel macroscópico, como se describirá más tarde.

Cambios en la toma de decisiones: en muchas partes del mundo, se abre camino un estilo más participativo en la toma de decisiones que reemplaza a los estilos tecnocráticos y autoritarios. Esto, junto con la aceptación cada vez más amplia de otros criterios, como el medio ambiente, los derechos humanos, el género y otros, así como el surgimiento de nuevos actores sociales, como las organizaciones no gubernamentales y las empresas transnacionales, conduce a un

aumento del número de dimensiones utilizadas para definir los temas, problemas y soluciones y, por ende, a una mayor complejidad.

Los sistemas y la complejidad

Es cada vez más claro que la búsqueda de un desarrollo sostenible requiere integrar factores económicos, sociales, culturales, políticos y ecológicos. Requiere la articulación constructiva de los enfoques de desarrollo de arriba abajo con las iniciativas de abajo arriba o de base. Requiere tener en cuenta simultáneamente las dimensiones locales y globales, y la forma en que interactúan. Y requiere ampliar los horizontes de espacio y tiempo para acoger la necesidad de la equidad intrageneracional e intergeneracional. En otras palabras, lo que se necesita no es ni más ni menos que un cambio fundamental en la manera en que enfocamos el desarrollo de las relaciones entre sociedad y naturaleza.

Para la ciencia, esto implica que es necesario integrar a un nivel mucho más amplio (y profundo) que sólo fomentar un estilo de investigación interdisciplinaria. Se requiere un enfoque verdaderamente sistémico complejo tanto de la práctica como del método de la ciencia.

El enfoque de sistemas es una manera de pensar en términos de interconexión, relaciones y contexto. Según este enfoque, las propiedades esenciales de un organismo, de una sociedad o de otros sistemas complejos son propiedades del conjunto, que surgen de las interacciones y las relaciones entre las partes. Las propiedades de las partes no son intrínsecas, y se pueden entender sólo dentro del contexto del todo más amplio. El pensamiento se concentra no en los componentes básicos sino en los principios básicos de la organización. Es "contextual", lo cual es lo opuesto del pensamiento analítico.

Mirar el sistema desde una perspectiva científica implica dos tareas básicas: una es la identificación y comprensión de las interrelaciones causales más importantes; los vínculos entre diferentes factores y diferentes escalas originan la posibilidad de que los cambios en un componente del sistema repercutan en otras partes del sistema. La otra tarea es comprender la dinámica del sistema. Además de la estructura de los componentes y vínculos, el análisis de las fuerzas que generan la conducta del sistema es esencial, incluyendo la investigación de cómo diferentes componentes y procesos interactúan funcionalmente para generar respuestas al sistema y propiedades emergentes, cómo el sistema se adapta y se transforma.

No ignoramos la existencia de un creciente volumen de excelentes investigaciones sistémicas. Sin embargo, la investigación sistémica no es la norma sino la excepción en la ciencia. Debido a las razones arriba citadas, es evidente que una ciencia relevante para el desarrollo sostenible tendría que ser fundamentalmente sistémica, y tener una visión del conjunto más que de las meras partes, y con un estilo de investigación interdisciplinaria. Además, los sistemas que tienen interés para el desarrollo sostenible son sistemas complejos, en el sentido definido más arriba.

La complejidad de los sistemas con que debemos tratar en el campo de la ciencia para el desarrollo sostenible es uno de los argumentos más decisivos para la necesidad de cambios en la producción y utilización de las ciencias.

Por sistema, queremos decir una conceptualización de una parte de la realidad definida por un conjunto de elementos interrelacionados. Los elementos pueden ser moléculas, organismos, máquinas o alguna de sus partes, entidades sociales o incluso conceptos abstractos. Puede que las interrelaciones, interconexiones o "acoplamientos"⁴ entre los elementos también tengan manifestaciones muy diferentes (transacciones económicas, flujos de mercancías, energía o información, vínculos causales, etc.). El comportamiento y las propiedades de un sistema surgen no sólo de las propiedades de sus elementos constituyentes, sino también en gran medida de la naturaleza e intensidad de las interconexiones dinámicas entre ellas. Esto es especialmente cierto en los sistemas socio ecológicos⁵, que podemos definir como las unidades básicas para el desarrollo sostenible.

Se pueden definir un número infinito de sistemas sobre el mismo trozo de realidad, dependiendo de la perspectiva, el objetivo y la experiencia previa. Por otro lado, cada una de esas perspectivas o sistemas, si se construye con cierto esmero, tendrá alguna correspondencia con lo que existe "realmente allá afuera".

Distinguimos entre sistemas complejos y sistemas meramente complicados, y entre éstos y los sistemas sencillos⁶. Un sistema es "sencillo" si se puede representar adecuadamente utilizando una sola y única perspectiva o descripción y mediante un modelo estándar (por ejemplo, analítico) que proporcione una descripción satisfactoria o resolución general mediante operaciones de rutina (por ejemplo gases ideales, moción mecánica).

Un sistema es "complicado" cuando no se puede representar satisfactoriamente mediante la aplicación de un modelo estándar, si bien es posible mejorar la descripción o la solución mediante aproximaciones, informatización ó simulación. Sin embargo, un sistema complicado también se puede definir utilizando una perspectiva única (por ejemplo, un sistema de muchas bolas de billar en movimiento, autómatas celulares, el patrón de comunicaciones en un gran cuadro de mandos).

Consideramos como el criterio básico para separar lo "complejo" de lo complicado usar dos o más perspectivas o descripciones irreductibles con el fin de definir el sistema. Los sistemas complejos comparten la propiedad de no poder ser representados mediante la aplicación de un modelo genérico a través de operaciones de rutina.

La definición de complejidad no es nada trivial, y existen concepciones diferentes, pero uno de los puntos que queremos destacar es que la complejidad no es un resultado automático del aumento del número de elementos y/o relaciones en un sistema. Los sistemas complejos generalmente muestran un cierto número de atributos que dificultan más su comprensión y gestión que los sistemas sencillos y complicados:

La multiplicidad de perspectivas legítimas. Por ejemplo, es difícil entender un sistema adaptativo sin considerar también su contexto; no se puede alcanzar la solución de un conflicto por una cuestión de propiedad común sin tener en cuenta las perspectivas y los intereses de los diferentes participantes (sin que ninguna sea la perspectiva "correcta" o "verdadera").

No linealidad. Los sistemas complejos son no lineales, en el sentido de que muchas relaciones entre sus elementos son no lineales, por lo cual la magnitud de los efectos no son proporcionales

a la magnitud de las causas, y en un repertorio muy nutrido de comportamientos (por ejemplo, comportamiento caótico, multi-estabilidad debido a la existencia de estados estables alternativos, procesos descontrolados, etc.). Las no linealidades desempeñan un papel decisivo en la generación del comportamiento contraintuitivo típico de muchos sistemas complejos.

Emergencia. Denotado por la frase "el todo es más que la suma de sus partes", ésta es una propiedad sistémica, e implica que las propiedades de las partes se pueden entender solo en el contexto del todo más amplio y que el todo no puede ser analizado (sin residuos) en función de sus partes. La verdadera novedad puede surgir de las interacciones entre los elementos del sistema.

Autoorganización. El fenómeno por el cual los componentes en interacción colaboran para producir estructuras y comportamientos coordinados a gran escala (como los patrones creados por las estructuras disipativas estudiadas por Prigogine –Prigogine y Stengers 1979; Nicolis y Prigogine 1977, Jantsch 1980).

Multiplidad de escalas. Muchos sistemas complejos son jerárquicos en el sentido de que cada elemento del sistema es un subsistema de un orden menor, y el propio sistema es un subsistema de un "suprasistema" de un orden mayor. El punto importante es que en muchos sistemas complejos hay un fuerte acoplamiento entre los diferentes niveles y, por lo tanto, se debe analizar o gestionar el sistema en más de una escala simultáneamente⁷. Sin embargo, los sistemas en diferentes niveles de escala tienen diferentes tipos de interacción, y diferentes ritmos característicos de cambio. Por lo tanto, es imposible tener una perspectiva única, correcta, que lo abarque todo de un sistema, incluso en uno de los niveles del sistema. La pluralidad y la incertidumbre son inherentes al comportamiento de los sistemas.

Incertidumbre irreductible. Muchas fuentes de incertidumbre surgen en los sistemas complejos. Algunas son reductibles con más datos y con investigaciones complementarias, como la incertidumbre debida a procesos aleatorios (sometible a análisis estadístico o probabilístico) o debida a la ignorancia (por falta de datos, por conjuntos inapropiados de datos, por definición incompleta del sistema y sus fronteras, o por comprensión incompleta o inadecuada del sistema). Cuando pensamos en los sistemas socioecológicos complejos relacionados con temas de desarrollo sostenible, es claro que esas fuentes de incertidumbre pueden ser insuperables en la práctica aunque no lo sean en principio. Incertidumbres fundamentales e irreductibles pueden surgir de procesos no lineales (por ejemplo, el comportamiento caótico), en el proceso de autoorganización (por ejemplo, Prigogine demostró que la nueva estructura sistémica que surge de la reorganización de los elementos del sistema puede ser inherentemente impredecibles incluso en sistemas químicos sencillos- Prigogine y Stengers 1979, Nicolis y Prigogine 1977) y a través de la existencia de comportamientos decididos de diferentes actores o agentes, cada uno con su propio objetivo. Además, los sistemas complejos "autoconscientes" (o "reflexivos") que incluyen subsistemas humanos e institucionales, son capaces de observarse a sí mismos y su propia evolución, con lo cual abren nuevos repertorios de respuestas y nuevas interconexiones. En aquellos sistemas, surge otra fuente de incertidumbre "dura"; una especie de "efecto Heisenberg", donde los actos de observación y análisis se convierten en parte de la actividad del sistema estudiado y, por lo tanto, influyen en él de diversas maneras. Esto es bastante conocido en los sistemas sociales reflexivos, a través del fenómeno del "riesgo moral", las profecías autocumplidas y el pánico masivo.

Si bien se pueden observar algunos de estos atributos de sistemas complejos en algunos sistemas complicados, e incluso sencillos (como la no linealidad, o la incertidumbre) hay que destacar que es probable que cualquier sistema complejo los tenga todos.

La investigación científica en un mundo de complejidad sistémica

Queremos ilustrar algunas de las implicaciones de la complejidad sistémica para la investigación científica a través de la reflexión sobre los siguientes dos puntos:

1. Las fluctuaciones pueden regir sobre los promedios. Esto ha sido demostrado en diversos casos de la física, la química y la biología por Prigogine y sus colegas (Nicolis y Prigogine 1977) y en la gestión de recursos naturales por Holling y sus colegas (Gunderson *et al* 1995) en el sentido de que las micro fluctuaciones (externas o internas al sistema) pueden, en ciertas circunstancias, conducir a una reestructuración drástica del nivel macro. Pensemos en la investigación para el desarrollo y en las pruebas de fármacos en un mundo sistémico, auto-organizado. Las pruebas de fármacos se suelen considerar estadísticamente de bajo riesgo, con un promedio de muertes o víctimas de daños irreversibles en menos del 0,1% de los casos. Sin embargo, si el sistema es "prigogineano", una alteración se puede amplificar y llegar a cambiar los valores medios. En ese caso, los intentos para lidiar estadísticamente con aquellas situaciones son insatisfactorios no sólo social sino también científicamente, y los "efectos secundarios" pueden ser imprevisibles y más importantes que los efectos deseados.

2. La investigación científica sobre los sistemas complejos, autoconscientes como aquellos que son relevantes para el análisis de los riesgos de los cambios medioambientales, y los riesgos nucleares o para la salud y otros por el estilo, tal vez tengan que lidiar con un conjunto de complejidades en diferentes niveles. El juego entre los factores en los diferentes niveles y capas aumenta la complejidad intrínseca de cada una de las capas. Hay al menos tres niveles en que la complejidad influye en la investigación científica:

- La realidad física, donde entran en juego las propiedades de autoorganización, incertidumbre irreductible, emergencia y otros elementos.
- La necesidad de tener en cuenta diferentes "epistemologías" (se debe reconocer y respetar una pluralidad de percepciones o perspectivas, aunque no sean aceptadas como igualmente válidas).
- La necesidad de tener en cuenta diferentes "intencionalidades" (objetivos diferentes).

La atención hacia aquellas propiedades de sistemas complejos no sólo es necesaria para el perfeccionamiento de la investigación científica, sino que la existencia y naturaleza de estas propiedades también es interesante e importante como tema de investigación científica.

Por otro lado, la atención destinada a las propiedades de los sistemas complejos presenta dificultades para las convenciones establecidas de la práctica científica y de asesoría especializada dentro de la comunidad científica. Se puede obtener una gran perspectiva en relación al tipo de potenciales que un determinado sistema puede tener. Sin embargo, el "espacio de resultados factibles" en estas circunstancias está caracterizado *ex ante* por una

indeterminación inherente y *ex post* por factores irreversibles. El conocimiento como perspectiva y comprensión no es en absoluto sinónimo de capacidad para formular predicciones. De la misma manera, la conciencia del riesgo no es sinónimo de capacidad de intervenir para disminuir o controlar los riesgos.

Podríamos dar numerosos ejemplos. Algunos figuran actualmente en las noticias, entre ellos, las emisiones a la atmósfera de gases del efecto invernadero y las perturbaciones de los patrones climáticos; los procesos de clonación, donde la transmisión de la "edad biológica" de la célula es un fenómeno complejo; los fármacos cuyos "efectos secundarios" son impredecibles en el tiempo y varían de una a otra especie; el procesamiento genético y las posibles consecuencias para la biología de las poblaciones (incluyendo la posible fertilización cruzada de linajes genéticamente modificados y no modificados de plantas agrícolas comerciales); los experimentos sobre el ciclo del combustible nuclear; nuevos elementos químicos producidos o subproducidos para procesos industriales.

El carácter borroso de las posibilidades de producción o, en otras palabras, el nuevo reconocimiento (aunque no sea realmente tan nuevo) de las profundas consecuencias irreversibles generadas por la aventura científica, tiene consecuencias de mucho peso para orientar las opciones sociales (Funtowicz, Ravetz y O'Connor 1998; Funtowicz y O'Connor 1999). No pretendemos reseñar la extensa literatura que ha surgido en los últimos treinta años sobre las incertidumbres y los riesgos tecnológicos. Uno de los temas que emerge es la idea de que la investigación científica podría promover una actitud reflexiva sobre los riesgos, permitiendo la siguientes líneas de razonamiento:

- la naturaleza (incluyendo los seres humanos vivos) abarca procesos estructurados delicadamente y vulnerables a las perturbaciones;
- La búsqueda de conocimientos no es un simple proceso de observación que se limita a aumentar el inventario de conocimientos sobre materias primas expuestas en el mercado. Más bien, es un proceso de intervención que, a través de aprender haciendo, proporciona conocimientos acerca de las posibilidades de transformaciones inducidas;
- En el proyecto científico "clásico", también se ha sostenido (o esperado) que estas posibilidades de transformación puedan ser dominadas en el sentido de poder controlar y contener estos potenciales de transformación;
- Sin embargo la perspectiva de consecuencias descontroladas y a veces arrolladoras de las intervenciones (o de los mecanismos de explotación y control) está siempre presente.

Muchos científicos dirán que esto no es nuevo, y que la ignorancia y el carácter incompleto del conocimiento siempre se ha reconocido en el proyecto científico. Sin embargo, lo que está en juego no es el reconocimiento de una ignorancia parcial sino, más bien, la importancia que debe otorgarse a las fuerzas del cambio utilizadas bajo condiciones de incapacidad para ejercer el control sobre los posibles resultados.

En el pasado ha habido (y aún hoy en día está muy generalizado) un importante proceso ideológico que ha protegido la práctica de la ciencia de tener que abordar profundamente este rasgo de descontrol inherente. Primero, la tendencia consistía en definir el dominio de la ciencia como aquél donde "se pueden encontrar soluciones". En segundo lugar, y estrechamente

relacionado, se ha privilegiado ideológicamente al objetivo deseado, un resultado deseado, por encima de los "efectos secundarios" no intencionados (que pueden tener aspectos inconvenientes o indeseados).

En resumen, el progreso científico era considerado una parte del carácter perfectible de la condición humana. Cualquier efecto descontrolado del cambio es interpretado como síntoma de la imperfección de los conocimientos actuales y/o de sus aplicaciones, bajo el supuesto de que más conocimientos disminuirán las incertidumbres, aumentarán la capacidad de control y permitirán redimir errores del pasado.

Aquí, vemos funcionando una idea instrumental de la ciencia y, en un nivel más profundo, una ideología de dominación. Esta ideología partidista sustituye lo que, se podría sostener, es un espíritu verdaderamente más científico que permitiría que los efectos incontrolados fueran no sólo inevitables sino quizá la propia esencia del proceso de aprendizaje- conocimiento.

Conclusiones

Sostenemos que la búsqueda de un desarrollo sostenible y el desarrollo histórico de nuestra época requiere modificaciones y perfeccionamientos no sólo en la divulgación y uso de los descubrimientos científicos sino también en la manera en que la propia ciencia se desenvuelve.

Sostenemos que la identificación y prueba de los cambios necesarios en los métodos científicos, en los criterios de verdad y de calidad, y en los marcos conceptuales es, en sí mismo, un tema legítimo e interesante para la investigación científica.

La investigación de los cambios necesarios requerirá tiempo y exigirá la participación de investigadores y disciplinas diferentes, naturales y sociales. En este caso, destacamos solo unas cuantas implicaciones prácticas que se pueden derivar de nuestro análisis.

Postulamos una propiedad sistémica fundamental. Esto no implica que cada pequeña parcela de investigación debería adoptar un enfoque sistémico. Hay muchos casos en que las interconexiones y el contexto pueden ser ignorados sin problemas. Pero pensamos que es responsabilidad del científico pensar en los impactos potenciales de su investigación científica desde el principio, así como evaluar hasta qué punto la naturaleza sistémica e interconectada de la realidad se puede ignorar con seguridad. Destaquemos que este argumento se basa en argumentos científicos, no en valores sociales ni preferencias individuales.

En un sentido más restrictivo, al menos en el caso de los productos tóxicos, los desechos de larga duración o los nuevos productos que tengan un potencial permanente de alteración (como los productos de recombinación genética), cualquier científico o innovador que promueva un nuevo producto o solución debería considerar la posible importancia del "Error Tipo-II" (no rechazar una hipótesis falsa) y justificar públicamente la decisión de ignorarla, puesto que la ausencia de pruebas de peligro no es lo mismo que pruebas de la ausencia de peligro.

La navaja de Occam es un buen ejemplo de una regla científica que podría cambiarse en la nueva ciencia de sostenibilidad. La regla, como se suele enunciar, de "no se debería aumentar más allá de lo necesario el número de entidades requeridas para explicar cualquier cosa", sigue siendo

válida en un mundo de complejidad sistémica, si bien la definición de "qué es necesario" tal vez requiera una ampliación drástica para dar cuenta de las interconexiones entre el objeto de estudio y otras partes de la realidad.

Una práctica útil en la investigación científica sería siempre definir el sistema dentro del cual aislamos o delineamos el problema investigado, y buscar interconexiones relevantes. En otras palabras, mirar hacia el exterior para analizar cómo el tema/problema está vinculado a otras variables, temas o sistemas (vínculos horizontales y verticales o de escalas transversales) en el tiempo y el espacio. Sólo entonces podemos ignorar significativamente el resto del sistema (si los vínculos son insignificantes⁸) o decidir cómo, y hasta qué punto, incluir el sistema más amplio en la investigación.

La complejidad de los sistemas y subsistemas implicados en una investigación de desarrollo sostenible, con la incertidumbre irreductible y las capacidades de autoorganización asociadas, señala que deberíamos alejarnos de las recetas y reglas rígidas hacia la búsqueda de principios generales y preguntas orientativas para dirigir las investigaciones.

En la caracterización del tema o problema y su posible evolución, incluimos todos los factores importantes, incluso aquellos que no son cuantificables. Se pueden utilizar diferentes análisis científicos y no científicos y criterios de verdad para abordar diferentes factores, pero si no están incluidos en la definición inicial del problema es poco probable (o difícil) incluirlos más tarde. Es preferible tener una respuesta aproximada para el conjunto del problema/tema, que una respuesta precisa para un componente aislado.

Al abordar un tema o problema, distinguir claramente entre la base de conocimientos (incluyendo las incertidumbres científicas) y las decisiones políticas (que incorporarán valores sociales).

Asegurar que la conceptualización científica del problema incluya, desde el comienzo mismo del proceso científico, la identificación de los indicadores relevantes de las políticas. Comprometer a los responsables de las políticas y participantes en la definición inicial del problema.

Considerar el posible repertorio de comportamientos del conjunto del sistema, lo más ampliamente posible (no sólo el comportamiento histórico). Sobre esta base, prepararse para la novedad, el cambio estructural y la sorpresa.

Valorar la información generada por las respuestas de sistemas a las políticas y las acciones humanas.

El nuestro, desde luego, no es una llamado a relajar el rigor científico. Al contrario, creemos que una "ciencia de sostenibilidad", además de tener una gran importancia práctica y social, debería ser más rigurosa obteniendo mejor información acerca de la naturaleza interconectada y compleja de la realidad, una realidad que la propia ciencia nos está revelando.

Traducido del inglés

Notas

1. Debe señalarse que la mayoría de las veces la palabra "ciencia" fue usada en la Conferencia con el significado de "ciencias naturales".
2. Encefalopatía bovina espongiforme.
3. Enfermedad de Creutzfeld-Jakob. La encefalopatía espongiforme humana más común, que se caracteriza por una demencia de rápida progresión.
4. En términos abstractos, los elementos y las relaciones entre los elementos definen un sistema. La palabra "relación" se utiliza aquí ampliamente para incluir también otras palabras similares como "limitación", "estructura", "organización", "cohesión", "interconexión", "correlación", "patrón".
5. Un sistema socioecológico ha sido definido como cualquier sistema que contenga a la vez componentes ecológicos (o biofísicos) y humanos, y cuya escala fluctúe entre la de los hogares y la escala planetaria (Gallopín *et al.* 1989).
6. Ver el sitio de Internet <http://inn.ingrm.it/compsys/manife.htm>.
7. En un sentido más general, se trata de la multiplicidad de niveles en un sistema jerárquico (de los cuales la escala es un caso especial). Para una discusión más amplia de los sistemas jerárquicos en el contexto del desarrollo sostenible, ver Gallopín (1991).
8. Pero no sólo porque, por ejemplo, el montaje experimental está prediseñado para eliminar los vínculos.

Referencias

- CGIAI (Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional), 1993. *The Eco-regional Approach to Research in the CGIAR*. Informe del Grupo de Trabajo de los Directores de Centros/TAC. CGIAI Reunión Intermedia, Puerto Rico, mayo, 1993.
- CIUC (Consejo Internacional de Uniones Científicas), 1999. Número especial de *Science International*. Septiembre, 1999. París: CIUC.
- CROSSEN, C., 1994. *Tainted truth: the manipulation of fact in America*. Nueva York, N. Y.: Simon & Schuster.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J., 1992. "Three Types of Risk Assessment and the Emergence of Post-Normal Science." *En: S. Krimsky and D. Golding (eds.) Social Theories of Risk*. pp. 251-273. Greenwood: Westport CT.

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J., 1993. "Science for the Post-Normal Age." *Futures* 25 (7): 735-755.

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J., 1999. "Post-Normal Science - an insight now maturing." *Futures* 31(7): 641-646.

FUNTOWICZ, S. *et al*, 1999. "Information tools for environmental policy under complexity." (*Environmental Issues Series No. 9*) European Environment Agency. Copenhagen.

FUNTOWICZ, S.O.; O'CONNOR, M., 1999. "The Passage from Entropy to Thermodynamic Indeterminacy: A Social and Science Epistemology for Sustainability", pp.257-286 *En: K. Mayumi y J. Gowdy (eds., 1999), Bioeconomics and Sustainability: Essays in Honour of Nicholas Georgescu-Roegen*, Edward Elgar, Cheltenham.

FUNTOWICZ, S.O.; RAVETZ, J.R.; O'CONNOR, M., 1998. "Challenges in the Utilisation of Science for Sustainable Development", *International Journal of Sustainable Development*, 1(1), pp.99-108.

GALLOPÍN, G.C. 1991. "Human dimensions of global change: linking the global and the local processes." *Int. Social Science Journal* 130: 707-718.

GALLOPÍN, G.C. 1999. "Generating, Sharing and Utilizing Science to Improve and Integrate (Oceans) Policy." Número especial: "Science and Sustainable Development." *The International Journal of Sustainable Development* 2(3): 397-410.

GALLOPÍN, G.C.; GUTMAN, P; MALETTA, P., 1989. "Global Impoverishment, Sustainable Development and the Environment. A Conceptual Approach." *Int. Social Science Journal* 121: 375-397.

GUNDERSON, L.H.; HOLLING, C.S.; LIGHT, S.S., (eds.) 1995. *Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions*. Nueva York.: Columbia Univ. Press.
HOLLING, C.S., 1998. "Two cultures of ecology." *Conservation Ecology* (online) 2 (2): 4 (<http://www.consecol.org/vol2/iss2/art4>).

HUBER, P.W., 1991. *Galileo's revenge: junk science in the courtroom*. Nueva York, N. Y.: Basic Books.

JANTSCH, E. ,1980. *The Self-organizing Universe*. Oxford: Pergamon Press.

JASANOFF, S., 1990. *The Fifth Branch: Science Advisors as Policymakers*. Harvard: Harvard University Press.

JASANOFF, S., 1998. "The Eye of Everyman: Witnessing DNA in the Simpson Trial." *Social Studies of Science* 28 (5-6): 713-740.

JASANOFF, S., *et al*, 1997. "Conversations with the Community: AAA and the Millennium." *Science* 278: 2066-2067.

LUBCHENCO, J., 1997. "Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science." *Science* 279: 491-497.

MUNN, T.; WHYTE, A; TIMMERMAN, P., 1999. " Emerging Environmental Issues: A Global Perspective of SCOPE." *Ambio* 28 (6): 464-471.

NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I., 1977. *Self-organization in Non-equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuation*. Nueva York: Wiley.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I., 1979. *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la Science*. París: Gallimard.

RAVETZ, J., 1996. *Scientific Knowledge and its Social Problems*. New Jersey: Transaction.

ROSE, H.; ROSE, S., 1976. *The Political Economy of Science*. Londres: Macmillan.

WEAVER, W., 1948. "Science and complexity." *Am. Sci.* 36: 536-544.

Nota biográfica

V.V. Krishna es profesor asociado de Política científica, Centre for Studies in Science Policy, Jawaharlal Nehru University, Nueva Delhi 110067, India. Correo electrónico: vkrishna16@hotmail.com . Es fundador y editor de Science, Technology and Society –An International Journal Devoted to the Developing World. Sus últimos títulos publicados son: Scientific Communities in the Developing World, 1997 (con J. Gaillard y R. Waast); y Science and Technology in the Developing World, 1997 (con T. Shinn y J. Spaapen).

Reflexiones sobre el cambio de situación de la ciencia académica en la India

V.V. Krishna

A finales del decenio de 1960, el profesor Edward Shils, refiriéndose a la situación de la profesión académica en la India, comentaba que ‘en el país del guru la profesión que ha abandonado sus obligaciones, cuenta con escasa consideración, tanto por parte de los que la practican como por parte de los demás’ (Shils 1969, 345). Treinta años más tarde, al analizar con perspectiva histórica el cambio de situación que ha experimentado la ciencia académica, es sorprendente comprobar que esta observación parece estar tan vigente en la actualidad como entonces. Ahora bien, este ensayo está dedicado al estudio, más que de la profesión en sí misma, del funcionamiento y la situación de la investigación científica en contextos universitarios y centros de educación superior. La ciencia académica, en su estructura organizativa, reside en las universidades, y en su aspecto de cultura intelectual tiene su fundamento en las academias científicas, en agrupaciones en torno a una disciplina o interdisciplinarias, asociaciones profesionales y revistas que mantienen modelos de comunicación y avance del conocimiento. La ciencia moderna, procedente del contexto colonial del siglo XVIII, tuvo que mantener una larga lucha por liberarse de los tentáculos de la ‘ciencia colonial’ y avanzar en el proceso de profesionalización hacia la emergencia de lo que se conoce como la comunidad científica india y el desarrollo de la ciencia académica. En este ensayo se analizan diferentes aspectos de esa lucha desde finales del siglo XIX hasta el momento actual. Como se afirman y explican diversos autores, la ciencia académica disfrutaba de una mayor consideración y respeto, y su compromiso con el avance del conocimiento era superior en el período anterior a la independencia que después de ésta. En la etapa actual, la ciencia académica, en sus diversas especialidades, se encuentra relegada debido a la escasa financiación, falta de infraestructura, apoyo y consideración social, en comparación con las llamadas agencias científicas orientadas a una misión, que están bajo los auspicios de las estructuras científicas gubernamentales.

La ciencia colonial y la lucha por crear una ‘cultura de ciencia’, 1875-1920s¹

La institucionalización y desarrollo de la ciencia moderna en la India estuvo en estrecha relación con el contexto colonial, especialmente en sus aspectos económicos y políticos. Siguiendo los detallados estudios de Basalla (1967), Kumar (1995) y otros, la ciencia colonial ha llegado a ser

definida con relación a la investigación científica llevada a cabo en las colonias, dentro de unas relaciones del tipo centro-periferia. La ciencia en las colonias (es decir en los países que estaban bajo poderes coloniales como Francia, Inglaterra, España, etc.) se consideraba como una actividad planeada desde las metrópolis (Londres, París, Berlín, por ejemplo) asignando a la periferia las tareas secundarias de 'recogida de datos', encuesta, investigación aplicada, etc, mientras que la síntesis teórica (investigación pura o fundamental) se desarrollaba en la metrópoli. El objetivo de la práctica científica en la colonia, desprovisto en general de su esencia intelectual, no era el avance y la profesionalización de la ciencia, sino la exploración de los recursos naturales, la flora y la fauna para atender las necesidades y demandas de los poderes metropolitanos. Los proyectos tecnológicos, como puentes, carreteras, telégrafo, ferrocarril, etc., se introdujeron, no tanto con la finalidad de desarrollar las colonias, como para posibilitar los objetivos económicos y políticos y para ayudar a las revoluciones industriales entonces en curso en la metrópoli. Otra característica de la ciencia colonial era la discriminación de que eran objeto los profesionales nativos o locales por diversos motivos culturales y económicos. El personal científico empleado en diversas organizaciones era contratado por la East Indian Company Compañía de la India Oriental antes de 1857 o por el gobierno colonial británico en servicios militares y civiles. Había una preferencia indebida por el personal científico de origen europeo, tanto a la hora de contratar como a la de ascender. En 1920, de un total de 213 contratados en once servicios científicos sólo 18 eran indios. Los científicos indios altamente capacitados eran discriminados y relegados a puestos inferiores a su titulación y se les pagaba la mitad que a sus colegas europeos con cualificación y experiencia similares. En el decenio de 1920, la estructura de la ciencia colonial era tal que había muy poco o ningún espacio para la profesionalización de la ciencia en la India. Es decir, aunque la ciencia moderna como tal estaba institucionalizada a través de diversas empresas científicas coloniales y un departamento de educación, la 'cultura de ciencia' seguía luchando por abrirse camino en la India colonial de finales del siglo XIX. El interés fundamental de las distintas empresas científicas no era mejorar la investigación científica en base a un objetivo profesional de hacer avanzar la investigación y el conocimiento.

La transición de la ciencia colonial a la ciencia nacional, pasado el decenio de 1920, se produjo gracias a algunos miembros de la clase intelectual. En la práctica, desde un punto de vista sociológico, se pueden distinguir claramente tres categorías de personal científico en el contexto colonial. La primera estaba formada por científicos colonos o residentes, contratados por el gobierno británico. El personal científico y técnico perteneciente a esta categoría se identificaba plenamente con la administración colonial. Eran básicamente 'guardianes' de la ciencia colonial, que controlaban y dirigían las estrategias de investigación al servicio de los objetivos coloniales. Practicaban la discriminación contra los científicos indios y actuaban en varios frentes: departamentos de educación, industria, finanzas y ciencia.

La segunda categoría estaba formada por personal científico y técnico llamado por la administración colonial para la ejecución de algunas tareas determinadas. No se sentían comprometidos con el avance de las disciplinas ni de las sociedades científicas pues su objetivo se limitaba al cumplimiento de la tarea encomendada. Una vez que estos científicos británicos terminaban su función o alcanzaban la edad límite, volvían a su país llevándose consigo una valiosísima experiencia. Se les podría denominar 'soldados científicos'. En todo el Imperio, como señala MacLeod (1975:348) "las aventuras de los funcionarios indios y 'soldados científicos' les dieron experiencia incomparable en organización y coordinación administrativa".

Como las políticas británicas coloniales continuaron, especialmente la discriminación en el ámbito científico, pasado el decenio de 1870, llegó a ser prominente una tercera categoría de personal científico. Eran fundamentalmente científicos indios nativos apoyados por un pequeño grupo de científicos colonos británicos y occidentales, misioneros y jesuitas y otros partidarios del desarrollo de la ciencia en la India (que trabajaban sin descanso por el cultivo de ciencia en la India y por su profesionalización. Llegaron a ser algunos centenares, pero mencionaremos sólo algunas personalidades importantes que desempeñaron un papel crucial: David Hare, Padre Eugene Lafont, Willian Carey y Marshman de Serampore, entre los misioneros; P.C.Ray, J.C.Bose, C.V.Raman, M.N.Saha, Ashutosh Mukherjee, M.L.Sircar y M.Visvesvaraya. Desde el punto de vista sociológico, estos tres grupos de científicos tuvieron sus zonas electorales, sus objetivos, redes de relaciones, y programas científicos. Mientras el personal científico de las dos primeras categorías formaba parte de la empresa científica colonial y se beneficiaba de las estructuras coloniales para la ciencia, la tercera categoría luchó contra estas mismas estructuras. La palabra 'lucha' adquirió una gran importancia en el discurso científico aunque, con miras a la acción, cada uno la interpretara a su manera. Pero a escala nacional, estos científicos estaban de acuerdo en general en que tenían la obligación de transformar las estructuras coloniales y crear las condiciones necesarias para el desarrollo de una cultura de ciencia en la India con la autonomía necesaria.

Una pequeña parte de científicos indios asociados con organizaciones científicas coloniales decidieron luchar desde dentro. A finales del siglo XIX, debido a las tensiones inherentes, la organización social de la ciencia colonial daba claras muestras de debilidad. En el cambio de siglo, estaban ya emergiendo las presiones para la profesionalización de la ciencia y la autonomía científica. Una parte de la clase intelectual política y científica elaboró una agenda para combatir la ciencia colonial por un lado y por otro, crear las estructuras institucionales adecuadas para fomentar una cultura de ciencia y hacer avanzar el conocimiento científico. Como la ciencia colonial y las empresas científicas al servicio de la administración colonial estaban de hecho implantadas en las estructuras científicas gubernamentales, la lucha por la profesionalización de la ciencia a través de las sociedades científicas, las revistas y la creación de grupos de especialistas, también pretendía fomentar la cultura de la ciencia académica.

El primer esfuerzo organizado en esta dirección fue la creación de la Indian Association for the Cultivation of Science [Asociación India para el Cultivo de la Ciencia] (IACS) en 1876 por M.L.Sircar (1833-1904) formado en la medicina moderna, pero firme defensor de la homeopatía. Como afirma Sircar sobre esta institución, "el objeto de la Asociación es capacitar a los nacidos en la India para cultivar la ciencia en todos sus departamentos sin perder de vista su avance por medio de la investigación original, ni (como se desprende necesariamente) sus diversas aplicaciones a mejorar la calidad de vida" (IACS 1976, 9). M.L.Sircar, independiente del gobierno colonial y con una modesta ayuda de 61000 rupias, afirmaba en los objetivos fundacionales de la institución que 'debemos empeñarnos en llevar adelante el trabajo con nuestro propio esfuerzo, sin ayudas del gobierno. Quiero que esté totalmente bajo nuestra administración y control. Quiero que sea únicamente nativa y exclusivamente nacional" (IACS 1976: 9). En torno a 1900, uno de los principales objetivos de la IACS era fomentar la cultura de ciencia en la India y aunar esfuerzos para la profesionalización de la ciencia. La IACS es una organización científica importante que inauguró una orientación nacionalista (poniendo en relación la ciencia con la construcción de la nación) en el contexto colonial. Esta institución adquiere gran importancia histórica para la ciencia india pues el único premio Nobel de Física

otorgado a la India procedía del trabajo científico llevado a cabo en esta institución a principios del decenio de 1930.

Las sociedades científicas, las instituciones de educación superior y las revistas: los primeros esfuerzos

Entre 1876 y el decenio de 1940, la minoría científica india y sus aliados europeos y británicos, junto con algunos dirigentes políticos se pusieron a trabajar en la instauración e institucionalización de sistemas de ayuda para la profesionalización de la ciencia y la formación de lo que se conoce como la comunidad científica india. Esto dio lugar a la creación de sociedades y revistas profesionales, centros de investigación especializada tanto en las universidades como en instituciones privadas, a la divulgación de la ciencia a través de clubs del libro, revistas, traducciones, etc. Ya en 1875, la Book Society de Calcuta (creada en 1817) contaba con 1544 títulos de los cuales 333 eran de ciencia. En 1910, en la región de Bengala había 10 revistas y publicaciones de ciencia y 47 de tecnología. Estas actividades para la divulgación de la ciencia se extendieron también a otras regiones de la India. En un importante estudio se demuestra que había en total 2124 publicaciones de ciencia en las lenguas indias de las diferentes provincias del país (Bhattacharya et al. 1989).

El efecto directo de la IACS fue la proliferación en Bengala de una serie de sociedades para la promoción de la formación técnica con perspectiva nacional. En esta época el nacionalismo aplicado a la ciencia pretendía la construcción de la nación y el desarrollo socioeconómico nacional, la modernización y la industrialización de la India. La principal ruptura con la enseñanza científica colonial se produjo gracias a las iniciativas de M.L.Sircar (fundador de la IACS), Nilratan Sircar (pedagogo y científico) y J.C.Bose (científico y fundador del Bose Research Institute [Instituto de Investigación Bose]) que llevó a la creación en 1898 de la primera Science Degree Commission [Comisión para la Titulación Científica]. Esta Comisión recomendaba la introducción de la enseñanza de las disciplinas científicas por separado. Cuando en 1912 Ashutosh Mukherjee llegó a vicerrector de la Universidad de Calcuta quiso dar un nuevo impulso a la enseñanza y a la investigación científica para los posgraduados. Pero el gobierno colonial rechazó financiar la investigación científica para los posgraduados en la Universidad de Calcuta. Una oportuna donación privada de dos terratenientes permitió a la Universidad de Calcuta crear el University Science College [Colegio Universitario de Ciencia] en 1914 (para la promoción de la ciencia y de la investigación avanzada). Otras iniciativas parecidas fueron la del Padre Laffont en el St. Xavier's College, Calcuta; la de P.C.Ray (conocido como el padre de la Indian School of Chemistry [Escuela India de Química]) y J.C.Bose en el Presidency College de Calcuta; la de J.C.Bose en el Bose Research Institute (1917); la de Jamsetji Tata (industrial) para la creación del ahora famoso Indian Institute of Science en Bangalore en 1909; la del Maharaja Sayaji Rao Gaikwad III para la creación de Kala Bhavan en el decenio de 1880 que más tarde se transformó en la actual M.S. University de Baroda (por citar algunas instituciones notables creadas en el decenio de 1920 que pusieron unos cimientos institucionales sólidos para la promoción sistemática de la ciencia en el contexto colonial). Estas instituciones promovieron cursos para posgraduados juntamente con investigaciones científicas. Otros centros de investigación avanzada surgieron en otros lugares y universidades. Las tres primeras universidades fundadas en la India por la administración colonial fueron las de Calcuta, Madrás y Bombay en 1857; y entre 1857 y 1918 se fundaron otras seis universidades en Allahabad (1887), Punjab (1882), Banaras (1916), Mysore (1916), Patna (1917) y Osmania (1918). Se crearon

aproximadamente 50 colegios universitarios en distintas zonas de la India y en el decenio de 1920 se otorgaron 2134 títulos en todas las especialidades científicas incluida la ingeniería. En el momento de la independencia había en total 22 universidades (Krishna 1992).

Paralelamente al fomento de la investigación científica para posgraduados en las universidades, en el período comprendido entre 1914 y el decenio de 1940, tuvo lugar por primera vez la profesionalización de la ciencia gracias a la creación de sociedades científicas y de revistas profesionales. El acontecimiento más importante fue la creación, en 1914, de la Indian Science Congress Association (ISCA) [Asociación India para el Congreso Científico]. En muchos aspectos estaba inspirado por la British Association for the Advancement of Science (BAAS) [Asociación Británica para el Avance de la Ciencia]. La ISCA sirvió de importante plataforma intelectual para fomentar la conciencia de pertenecer a la comunidad científica, unificando a los grupos de especialistas que estaban dispersos y reuniendo a los científicos de toda la nación, que trabajaban individualmente, en sus congresos anuales que se celebraron en diferentes lugares de la India. Todavía hoy, la reunión anual de la ISCA que, por tradición, es presidida por el Primer Ministro del país, que pasa todo el día en el Congreso en compañía de los científicos y técnicos, supone un gran acontecimiento. El Congreso, que empezó teniendo 79 miembros en 1914, cuatriplicó esta cifra llegando a 320 en 1924 y a 2235 en 1950. Después de 1917, los comités de la ISCA para las distintas disciplinas desempeñaron el importante papel de catalizadores en la formación de sociedades profesionales de especialistas en las diferentes disciplinas contribuyendo así a la génesis de la comunidad científica india. Antes de la creación de la ISCA había escasamente dos sociedades profesionales bajo los auspicios de empresas científicas coloniales. Entre 1914 y 1947, tras la creación de la ISCA, se crearon 51 sociedades profesionales especializadas en diferentes disciplinas científicas gracias a las iniciativas del Congreso.

Con la fundación, en 1920, de la Indian Botanical Society [Sociedad Botánica India] la profesionalización de la ciencia entró en una nueva fase y en el decenio de 1940 alcanzaba a casi todas las disciplinas. Muchas de estas sociedades profesionales se crearon a escala nacional contribuyendo a la conciencia científica nacional. Con la creación de sociedades profesionales en las diferentes disciplinas, la publicación de revistas despertó un gran interés profesional. De publicarse tan sólo dos revistas en 1820 a cargo de empresas científicas coloniales, pasaron a publicarse diez en 1910. Con la creación de la ISCA en 1914, como se ha señalado antes, la creación de revistas profesionales tuvo una gran importancia para la emergencia de grupos de especialistas científicos pues el número de revistas profesionales aumentó a 40 en 1947 y a 84 en 1950.

Cuadro 1 :Aumento de revistas científicas 1850-1990*

Disciplinas	1850	1900-1950	1951-60	1961-1970	1971-1980	1981-1990	Total
C y T en general	4	8	5	3	4	-	24
Ciencias biológicas	-	49	48	58	69	35	259
Física/ Química	-	10	11	21	21	7	69
Ingeniería	-	11	22	16	14	6	69

Matemáticas	-	6	3	6	8	-	23
Todas las disc.	4	84	89	104	115	48	444

Fuente: Basado en Sen y Lakshmi (1992)

*Nota: Cuando es aplicable, revistas que están incluidas en una de las bases de datos nacionales o internacionales

Del ‘cultivo’ de la ciencia al ‘avance’ científico

Cuando miramos hacia atrás para ver el desarrollo histórico de la ciencia, y tratamos de señalar los momentos más decisivos, destaca, por ser el más importante en la transformación de la ciencia en la historia india, el período de los dos decenios siguientes a 1900. Fueron tres decenios de iniciativas institucionales para la creación de marcos institucionales que empezaron a transformar el cultivo de la ciencia en el avance de la ciencia. No sólo la ciencia india llegó a ocupar un puesto en el ámbito científico internacional gracias a sus contribuciones en las diferentes disciplinas científicas, sino que en este período emergió lo que se conoce como la comunidad científica india en biología, física, química, matemáticas y astronomía.

Con la incorporación de J.C.Bose y P.C.Ray al Presidency College, en Calcuta en 1885, y C.V.Raman a la IACS en 1907, empezaba un nuevo capítulo en el avance de la ciencia india. La obra de J.C.Bose sobre las micro-ondas (1895) y fisiología de las plantas (1900) le valieron el reconocimiento mundial y fue elegido miembro de la Royal Society en 1920. Sobre los receptores de ondas, Patrick Geddes,² biógrafo de J.C.Bose, dice que su descubrimiento fue anterior al de Marconi que fue quien lo patentó. Entre 1900 y 1920, J.C.Bose creó un programa de investigación de fisiología de las plantas prosiguiendo su importante contribución con un artículo sobre ‘Generality of molecular phenomena produced electrically in living and non-living matter’. J.C.Bose estableció un programa de investigación dentro de una institución (el Bose Research Institute) en 1917. En total, J.C.Bose publicó 97 artículos entre 1895 y 1920 y colaboró con nueve colegas en una cuarta parte de sus publicaciones. A partir de 1917, el Bose Research Institute publicó una revista llamada *Transactions of the Bose Research Institute*.

En Física, C.V.Raman, J.C.Bose, S.N.Bose y M.N.Saha crearon la Indian School of Physics [Escuela India de Física] en torno al decenio de 1920. Fue Raman quien desempeñó la función más importante en la IACS tras su incorporación a esta institución en 1907. El volumen conmemorativo del centenario de la IACS, al recordar esta época, reconoce la obra de Raman y sus colaboradores³ llamándola ‘Escuela de Raman’. Como se señaló anteriormente, el trabajo llevado a cabo por Raman en la IACS le valió el premio Nobel de Física en el decenio de 1930, el primero en la historia de la India. En este período, bajo la autoridad de Raman en la IACS, adquirió la Física la condición de profesional por primera vez en la India. La institución publicó desde 1909 su propia revista llamada *Bulletin of the Association*, que se convirtió en el vehículo para la publicación de las contribuciones originales indias. El propio C.V.Raman, estudiando el trabajo de Física realizado en Calcuta entre 1907 y 1917, señalaba que ‘en Calcuta ha nacido una verdadera Escuela de Física como no existe en ninguna otra universidad india e incluso ahora no saldría mal parada si se comparara con las existentes en las universidades europeas y americanas’ (IACS 1976, 30). Además, Raman, en una de sus reuniones científicas de la IACS, dio una lista de 25 artículos originales de la School of Physics de Calcuta entre los que había trabajos de S.K.Banerjee, S.K.Mitra y M.N.Saha. En torno a 1918, se creó la Physical Society de Calcuta

[Sociedad Física] bajo los auspicios de la Universidad de Calcuta. K.S.Krishnan, que más tarde sería el primer director del National Physical Laboratory [Laboratorio Nacional de Física], se incorporó al equipo de Raman a partir de 1920, siendo un estrecho colaborador de éste en la obra que le valió el Premio Nobel. Los avances más espectaculares en el campo de la óptica se llevaron a cabo por Raman y su equipo. En astrofísica teórica, las teorías de M.N.Saha de ionización y radiación térmicas dieron lugar a la teoría física de los espectros estelares en el decenio de 1920. Saha puso las bases para la escuela ionosférica de la Universidad de Allahabad en la que pasó 17 años. La obra de Saha fue continuada por S.Chandrashekar, D.S.Kothari y Majumdar. Los programas de investigación de S.K.Mitra en el decenio de 1930 sobre radiofonía y física química, dedicados a la interpretación de los espectros de absorción deben mucho al impulso inicial que recibieron las ciencias físicas en el cambio de siglo.

P.C.Ray, más conocido como el padre de la química india, se incorporó al Presidency College de Calcuta en 1885, a su vuelta de Gran Bretaña con el título de doctor en química. Tras once años de trabajo llegó a descubrir el nitrito de mercurio y al final del siglo XIX, ya había organizado un sólido equipo. Después de trabajar para el Presidency College durante 38 años, se incorporó al University College of Science in 1916. En el decenio de 1920⁴ emerge lo que se conoce como Indian School of Chemistry [Escuela India de Química]. Se trataba de una comunidad de unos 50 químicos indios muy activos en la publicación de trabajos, pues llegaron a publicar 160 artículos en el decenio de 1920. La revista *Nature*, en su número de 23 de marzo de 1916, refiriéndose a los 126 artículos escritos para diversas sociedades como la Chemical Society (Londres) [Sociedad Química], la Journal of American Chemical Society [Revista de la Sociedad Química Americana] y otras, observaba que ‘algunos de estos artículos tienen un gran valor e interés, y son una muestra del trabajo entusiasta por parte de esta escuela recién creada’ (Ray 1958, 150). La School of Chemistry, bajo la autoridad de Ray contribuyó enormemente a la institucionalización de los departamentos de química en las universidades indias; y al menos cuatro generaciones de químicos, desde 1900 hasta el decenio de 1950, salieron de esta escuela. La Indian Chemical Society (1924) fue el producto de las iniciativas de Ray en colaboración con sus alumnos. Tres de ellos llegaron a ser muy importantes en el avance de la química en la India. Los avances en química física se deben a N.R.Dhar que hizo aportaciones originales a la electroquímica. La teoría de J.C.Ghosh (1918) sobre la anomalía de los electrolitos fuertes produjo un gran revuelo en la comunidad internacional cuando se publicó por primera vez. Asimismo, la iniciación de la investigación avanzada sobre química coloidal en la India se debe a J.N.Mukherjee.

En el campo de la astronomía el St.Xavier’s College, de Calcuta, fue un centro de actividad dirigido por el Padre Lafont quien organizó un grupo para investigaciones espectro-telescópicas y, a diferencia del esquema de recogida de datos de la ciencia colonial, puso en marcha una serie de mecanismos para iniciar estudios básicos fomentando así la investigación científica avanzada desde 1905. En matemáticas, se fundó en 1908 la Mathematical Society de Calcuta [Sociedad Matemática] bajo la presidencia de Aushustosh Mukherjee que fue también vicerrector de la Universidad de Calcuta poco tiempo después. Aunque A. Mukherjee era un abogado famoso, es poco conocida su aportación original a las ecuaciones diferenciales, conocidas como ‘teoremas de Mukherjee’. Ashutosh llegó a ser miembro de la Mathematical Society de Londres y la Universidad de Cambridge le honró introduciendo estos teoremas en su plan de estudios. En Poona, gracias a las iniciativas de V.Ramaswami Iyer, el ‘Analytical Club’ del Fergusson College pasó a ser la Indian Mathematical Society en 1911. En 1914, se creó la Rash Behari Ghosh Chair

of Applied Mathematics [Cátedra Rash Behari Ghosh de Matemática Aplicada] en el University College of Science de Calcuta [Colegio Universitario de Ciencia], que le fue ofrecida a Ganesh Prasad, el primer Doctor en Ciencias de la Universidad de Allahabad. Tras la creación de la Hindu University de Benaras [Universidad Hindú] en 1918 por M.M.Malaviya, Ganesh Prasad fundó la *Benaras Mathematical Society*. La principal contribución de Ganesh Prasad fueron sus teorías en el campo de la matemática aplicada. Sus disertaciones con profesionales de este campo aparecieron en forma de memorias con el título de *Constitution of Matter and Analytical Theories of Heat*, y fueron publicadas por la Royal Society of Science de Gottingen (1903). También trabajó en la teoría de las variables reales, que aparece principalmente en *Fourier Series*, publicado a finales del decenio de 1920.

La emergencia de la comunidad científica india y de la cultura de ciencia académica

Frente a la docena de empresas científicas coloniales, en el decenio de 1940 se llevó a cabo en centros académicos una proporción abrumadora (en torno a 90%) de investigación científica relacionada con el avance del conocimiento, la producción de conocimiento básico, programas de investigación a largo plazo y formación superior en investigación científica con nivel de doctorado. Prácticamente todos los grupos importantes dedicados a la investigación científica pertenecían a universidades o a instituciones científicas privadas (que funcionaban como centros universitarios) como el Bose Research Institute, la IACS o el Indian Institute of Science de Bangalore. Como muestran los datos sobre publicaciones, entre 1836 y 1895, los científicos indios apenas llegaron a publicar 18 artículos en la *Journal of Asiatic Society*. Los europeos (sobre todo los británicos) publicaron más de 1021 artículos. Como señalamos antes, era la época de la discriminación colonial en la ciencia. En los 25 años siguientes a partir de 1895, la producción de los científicos indios era de 350 artículos, la mayor parte de los cuales eran contribuciones científicas básicas y originales. Siguiendo por este camino de profesionalización de la ciencia por medio de la creación de sociedades científicas de las principales disciplinas científicas, en el decenio de 1930 se crearon tres academias científicas principales. La Academy of Sciences of the United Provinces of Agra and Oudh, fundada en diciembre de 1930, que pasó a llamarse National Academy of Sciences (Allahabad) [Academia Nacional de Ciencias] en diciembre de 1936. La Indian Academy of Sciences (Bangalore) [Academia India de Ciencias] fue fundada en abril de 1934; y el National Institute of Sciences [Instituto Nacional de Ciencias] fundado en Calcuta fue rebautizado en 1935 con el nombre de Indian National Science Academy y trasladada su sede a Delhi.

Con un Premio Nobel en Física y no menos de ocho miembros indios en la Royal Society, de Londres, el período entre los decenios de 1920 y 1940 es importante desde al menos tres puntos de vista: por primera vez emergía lo que se conoce como la comunidad científica india en paralelo con la ciencia colonial. En segundo lugar, la comunidad científica india adquiriría una identidad propia en el ámbito internacional de la ciencia gracias a los avances del conocimiento científico producido en los laboratorios del país. No hay que decir que esto era un objetivo intelectual importante para la elite científica y los dirigentes políticos del contexto colonial. En tercer lugar, y en respuesta a las estructuras científicas coloniales, que no ofrecían el marco institucional adecuado para atender las demandas *profesionales* de los científicos⁵ y empobrecían la investigación básica en las empresas científicas coloniales, la cultura de la ciencia académica adquirió una importancia considerable. El tipo de ciencia que se practicaba y los objetivos de los científicos, así como la importancia que se daba a la profesionalización por medio de la creación

de sociedades y revistas, y a los valores de la ciencia, como el conocimiento libre, el valor primordial de la autonomía en la ciencia mantenido por la minoría científica, el marco institucional con la universidad como centro, todo ello significó el predominio de la cultura de la ciencia académica en el período comprendido entre el decenio de 1920 y el de 1940. Existen diversos ejemplos y anécdotas que ponen de manifiesto lo que es la cultura académica. Por ejemplo, J.C. Bose renunció a patentar los resultados de su investigación, interesantes desde el punto de vista comercial, sobre las microondas. Con motivo del décimo aniversario del Bose Research Institute, el 29 de noviembre de 1927, Bose al dirigirse a sus alumnos recalcaba:

...en cuanto a mis discípulos, me dirijo a los pocos que piensan dedicar toda su vida con determinación absoluta y claro propósito a tomar parte en la lucha sin fin de llegar al conocimiento por sí mismo y mirar cara a cara a la verdad.

J.C. Bose, C.V. Raman, M.N. Saha, P.C. Ray, Aushutosh Mukherjee y otros miembros de la elite científica de esta época elite abrazaron, practicaron y predicaron, de diversas maneras, la cultura de la ciencia académica como 'ideología utópica' o como un 'ideal'. De hecho, la elite de esta generación se concentró en la enseñanza, la investigación y en hacer avanzar la ciencia pese a todas las dificultades de limitaciones económicas y de todo tipo de medios y a la discriminación. Pero las altas oleadas de la cultura de la ciencia académica, que impregnaron la ciencia india desde el decenio de 1940, fueron descendiendo poco a poco después de la independencia.

El desarrollo de la 'ciencia pública' y el retroceso de la ciencia académica a partir de 1947

Hacia el final de la Segunda Guerra Mundial, cuando la independencia de la India parecía inevitable, la cuestión de cómo India iba a organizar su investigación científica y qué 'modelos de organización' se iban a seguir durante el período de posguerra se planteó con toda su dificultad entre la clase intelectual india. El National Institute of Sciences (NIS), convertido en el principal centro de actividad, organizó en septiembre de 1943 un simposio sobre este tema al que asistieron todos los científicos más importantes. Un año después, en agosto de 1944, le fue presentado al gobierno colonial el famoso Informe A.V. Hill titulado 'Scientific Research in India'. Estos dos acontecimientos, el simposio del NIS y el Informe A.V. Hill, pusieron sobre el tapete dos 'modelos' diferentes de organización de la ciencia. Mientras el simposio del NIS proponía la creación de un National Research Council (NRC) sin control directo del gobierno y dirigido por organizaciones científicas y universidades no oficiales, el Informe A.V. Hill propugnaba un modelo de organización con diferentes consejos de investigación científica bajo el control directo del gobierno. Aunque tenían muchas cosas en común, la diferencia principal era la forma de control, a cargo del gobierno o fuera del alcance de éste. Mientras el simposio del NIS propugnaba un modelo que consolidaba la estructura de la ciencia académica al margen de las empresas coloniales que estaba en boga antes de la independencia, el modelo del Informe A.V. Hill defendía un sistema de ciencia pública, es decir, bajo el control del gobierno en lo referente a la financiación y el funcionamiento. Como eminentes científicos indios, como M.N. Saha, C.V. Raman y otros varios eran partidarios del modelo de ciencia académica propuesto por el NRC, lanzaron fuertes críticas contra el modelo de A.V. Hill y en ocasiones, algunas personalidades, como M.N. Saha entraron en confrontación directa con los defensores del modelo de ciencia pública que, según ellos, iba en contra de la autonomía científica y equivaldría en la práctica a que el sistema de organización de la ciencia centrado en la universidad tuviera una importancia

secundaria. Tras la independencia, Pandit Nehru, el Primer Ministro de la India libre, entró en estrecha relación con la elite científica y se interesó profundamente por la infraestructura para el desarrollo de la ciencia y la tecnología del país, y se decidió por el modelo A.V.Hill. La ciencia pública, que experimentó un cambio al pasar del gobierno colonial al nacional a partir de 1947, equivalía, en la práctica, al predominio de la cultura político-burocrática en la organización de la ciencia.

La cultura político-burocrática en C y T se basaba en la alianza ciencia-política iniciada por Nehru con científicos como Homi Bhabha, Shanti Swarup Bhatnagar, Mahalanobis, J.C. Ghosh y D.S. Kothari, entre otros, que desempeñaron un papel importante en conseguir ayuda pública para crear diversas instituciones y organismos científicos. Resultaría incomprendible estudiar el desarrollo de C y T en el período posterior a la independencia sin entrar en el tema de la relación entre la política y la ciencia, especialmente en la estrecha alianza a la que nos acabamos de referir. Ya en 1945, el Manifiesto del Partido del Congreso para el primer gobierno nacional afirmaba:

La ciencia, en sus campos prácticos de actividad, ha tenido siempre una influencia enorme en la vida humana y la seguirá teniendo, e incluso en mayor medida, en el futuro. El avance industrial, agrícola y cultural, así como la defensa nacional dependen de ella. Por lo tanto, la investigación científica es una actividad básica y esencial del estado y debe organizarse y fomentarse al máximo.⁶

Más tarde, en 1947, Nehru, dirigiéndose a la 43 sesión del Indian Science Congress inauguró su alianza con los científicos señalando que ‘en la India hay un sentimiento creciente de que los políticos y los científicos deben trabajar en estrecha colaboración’. A diferencia de la postura crítica de Gandhi sobre la ciencia y la tecnología modernas, la imagen moderna y seglar de Nehru y, sobre todo, su apoyo incondicional a la ciencia, lo convirtió en un ‘mesías’ para el desarrollo científico en la India. La comunidad científica en general y la elite en particular, se identificó de inmediato con esta manera de ver la ciencia y el desarrollo pues ellos también encontraron en él un gran defensor de sus intereses. Nehru declaró en cierta ocasión:

Sólo la ciencia puede resolver el problema del hambre y la pobreza, de la insalubridad y el analfabetismo, de la superstición y de las costumbres y tradiciones en decadencia, de los vastos recursos desperdiciados, de un país rico en el que la gente muere de hambre.

No veo otra manera de salir del círculo vicioso de la pobreza salvo emplear las nuevas fuentes de poder que la ciencia pone en nuestras manos.⁷

Era una época de enorme optimismo en torno a la ciencia y al desarrollo, que se podría llamar etapa de ‘políticas científicas’, en la que el interés principal residía en crear en el país una infraestructura básica para C y T y desarrollar el sector universitario para que proporcionara los recursos humanos adecuados. Fue en esta etapa cuando se planearon los cinco mejores Institutos de Tecnología de la India. Las principales agencias científicas orientadas a una misión (MOSA), como DAE y CSIR, DRDO etc., o bien se crearon en esta etapa o bien tuvieron una rápida expansión. En esta etapa posterior a la independencia, el lugar preferente de la investigación científica básica, que era la universidad o los centros académicos privados, se fue desplazando a

estas agencias científicas orientadas a una misión, bajo los auspicios del gobierno. Las principales instituciones de investigación científica, famosas por su contribución a la excelencia académica y al avance del conocimiento científico, perdieron, en el período posterior a 1947, gran parte de su excelencia debido al escaso apoyo presupuestario que recibieron.

La alianza ciencia-política del período de Nehru, aunque éste consultó a un amplio sector de la clase intelectual, hizo que el desarrollo de C y T se orientara hacia unas direcciones ‘concretas’ (Krishna 1997). En 1947, la CSIR no tenía laboratorios dignos de mención, pero en el decenio de 1950, S. S. Bhatnagar creó una red de quince laboratorios. Actualmente, la red CSIR está integrada por más de 40 laboratorios nacionales en los que trabajan unos 7000 científicos. C.V. Raman llamó a este fenómeno el ‘efecto Nehru- Bhatnagar’. Lo mismo ocurría en la agencia de energía atómica con Homi Bhabha al frente. Éste pudo convencer a Nehru para establecer la sede del Department of Atomic Energy [Departamento de Energía Atómica] en Bombay, donde él quería. Así pues, durante más de cuatro decenios después de la independencia, la auténtica expansión de la infraestructura de C y T se produjo en el ámbito de las MOSA, como CSIR, DAE y centros relacionados con la defensa, en comparación con otros sectores.

Cuadro 2: Gasto nacional en I y D de Ciencia y Tecnología en la India (Cifras en millones de rupias)

Año	I y D en el Sector Acad. *	Gasto Total en I y D	I y D en % del PNB
1958/59	16.57	220.93	0.17
1970/71	104.30	1390.69	0.35
1980/81	570.03	7600.52	0.62
1990/91	2980.51	39740.17	0.85
1996/97	6255.01	83400.17	0.66

· Basado en el promedio calculado por Ahmed and Rakesh (1991)

Esto provocó la decadencia de la ciencia académica en el sector universitario, pues las MOSA se llevaban más del 90% del presupuesto público total destinado a actividades de I y D. La expansión que experimentaron las MOSA a expensas de la ciencia académica se convirtió en un tema de gran preocupación para los científicos, como M.N. Saha y Homi Bhabha. En el decenio de 1950, M.N. Saha, que representaba a Calcuta en el Parlamento Indio como independiente, atacó al gobierno de Nehru (y por implicación directa a S.S. Bhatnagar por la rápida expansión de CSIR) haciendo en público la siguiente afirmación:

...los laboratorios nacionales que Ud. ha creado no satisfarán nuestras necesidades... Si quiere dar vida a este país, si quiere formar un personal capacitado para el gran trabajo de reconstrucción que ha sido el sueño... debe poner los pies en tierra y encontrar el dinero necesario para prestar ayuda suficiente a las universidades y revitalizar sus actividades (Sen, 1954).

El propio Homi Bhabha, que había tenido una influencia considerable en Nehru para construir el centro de Energía Atómica, reconocía que las políticas científicas gubernamentales habían

erosionado los fundamentos de la ciencia académica. Justo antes de su lamentable desaparición, Bhabha señalaba que ‘el coste de la construcción de los laboratorios nacionales... ha sido la decadencia de las universidades por haberse llevado de ella a personas valiosas que son su capital principal’ (Bhabha 1966). Aunque Bhabha se refería concretamente a CSIR, es fácil extender esta afirmación al desarrollo espectacular de las MOSA, incluida la Atomic Energy Commission, que había contribuido mucho a la ciencia académica desarrollada en las universidades. Aunque los laboratorios que estaban en el radio de acción de las MOSA habían intensificado los contactos y relaciones existentes con los centros académicos y la industria, desde el primer período se crearon ‘divisiones’ innecesarias entre las universidades y los laboratorios nacionales, que tuvieron consecuencias a largo plazo para el desarrollo de la ciencia académica en la India. Por ejemplo, S.S. Bhatnagar que estaba al frente de CSIR y de la University Grants Commission [Comisión de Subvenciones Universitarias] durante los siete primeros años continuó estableciendo una división del trabajo entre las agencias científicas orientadas a una misión (MOSA) y las universidades. En el decenio de 1950, Bhatnagar mantenía que ‘las universidades se ocupan principalmente de la investigación fundamental, mientras que las actividades de los laboratorios nacionales se orientan esencialmente a la investigación aplicada, si bien éstos no están excluidos de llevar a cabo investigaciones de carácter fundamental’ (Krishna 1993, 17). Debido a esta división del trabajo, los centros de ciencia académica se vieron privados de fondos para emprender programas de I y D a largo plazo.

Aunque el número de universidades se triplicó en dos decenios, pasando de 25 en 1947 a 80 en 1969, y se volvieron a triplicar en el decenio de 1990, la mayor parte de estas instituciones se limitaron a ser centros de enseñanza sin tener los medios adecuados para la investigación científica como la que existía y se fomentaba en las MOSA. La Comisión de Educación, en su informe de 1966, dedicaba un capítulo entero a la educación y la investigación científica y comentaba: ‘un punto débil en la educación e investigación de la India es la cantidad relativamente pequeña de investigación que aportan las universidades al total de la investigación india que es ya mucho menor de lo que debería ser en relación con nuestras competencias y necesidades’.

Los programas de industrialización y modernización anunciados durante la era de Nehru a través de los Planes Quinquenales (sobre todo desde el Segundo Plan dirigido por Mahalanobis) dio lugar a la creación de fábricas de acero en Rourkela, Bhilai y Durgapur. Por otra parte, la rápida expansión de las empresas del sector público (PSEs) de maquinaria, medicamentos, teléfonos, electrónica, fertilizantes, cemento y demás, necesitaban una base científica y tecnológica del sistema que estaba en marcha durante los decenios de 1950 y 1970 en el ámbito de las MOSA. Aquí no cuestionamos la base de la existencia de las MOSA o de la ayuda otorgada a I y D sino la forma en que se desarrollaron en el sistema nacional de innovación en el que la ciencia académica tenía muy poco o nada que hacer. El problema en su conjunto tiene que ver con la falta de las relaciones adecuadas entre los diferentes actores del sistema nacional de innovación, en el que la investigación científica básica del sector de la ciencia académica podía haber sido permanentemente revitalizada por ser la fuente principal de producción de conocimiento básico y de recursos humanos formados profesionalmente para una economía que se había fijado unos objetivos de rápida industrialización y modernización del país. Las MOSA se llevaban el 80% del total de fondos para I y D y actuaban con relativa independencia de los centros de ciencia académica, de la industria privada y de las empresas del sector público.

En 1973, el primer documento ‘An approach to the Science and Technology Plan’ elaborado por el National Committee on Science and Technology (NCST) [Comité Nacional de Ciencia y Tecnología] ponía de relieve las deficiencias de la política científica y señalaba que ‘la falta de comunicación entre la industria y los laboratorios de investigación industrial sigue siendo una realidad.’ Con la excepción del sistema de investigación para la agricultura (conocido por sus estrechas relaciones entre la enseñanza, la investigación y la aplicación) que ha hecho posible que la India alcance una relativa autosuficiencia en la producción de cereales, los problemas de las relaciones entre los diferentes actores del sistema de innovación persistían. El Profesor Nathan Rosenberg, estudiando distintos modelos de industrialización, comentaba que ‘la India es un ejemplo de lo que parece ser un caso de desaprovechamiento de una infraestructura científica y tecnológica relativamente amplia y bien desarrollada. Sus actividades de investigación (CSIR) se realizaban entonces sin tener absolutamente ninguna información de las necesidades de las empresas del sector público o privado...’ (Rosenberg 1990, 149-150). Esto también se puede aplicar a las relaciones entre los laboratorios nacionales y las instituciones académicas. Al no haber colaboración en la investigación a largo plazo con las instituciones científicas académicas, lo que hubiera asegurado el flujo de fondos para I y D, las políticas científicas públicas y los modelos de desarrollo de I y D dejaron muy poco espacio para el desarrollo de la ciencia académica básica del país. La falta de unas relaciones estrechas entre los centros de ciencia académica y las MOSA contribuyó al retroceso de la ciencia académica básica de diversas maneras.

En 1969, el Profesor Edward Shils, editor durante muchos años de la importante revista de política científica *Minerva* y experto muy estimado en el ámbito universitario indio, hizo una evaluación sistemática del gasto hecho por las universidades y por las MOSA en la India. Shils calculaba que el gasto hecho en investigación por los científicos académicos era de 6000 rupias por año y por científico, mientras que la cifra para el Indian Council for Medical Research era de 16000 rupias; para el CSIR, 45000 rupias; y para el Department of Atomic Energy, 72000 rupias (Shils 1969). Pese a la expansión de las universidades, la falta de apoyo presupuestario adecuado a la investigación científica académica continuó hasta el decenio de 1980 y principios del de 1990 como se refleja en la National Policy of Education [Política Nacional de Educación] de 1986 y en el estudio detallado ‘Scientific Research in Indian Universities & The Institutes of Technology’ de Ahmed y Rakesh (1991) respectivamente. Un trabajo extenso ‘Science in India’ publicado por *Nature* en 1984 señalaba que ‘la universidad india es desde luego la más grande del mundo, pero probablemente también la más caótica. Algunas instituciones van bien pero la mayoría tienen muchos problemas: falta de medios, profesores inadecuados, demasiados estudiantes...’ (*Nature* 1984, 591). Diez años más tarde, el editor de *Nature*, John Maddox emprendió un extenso trabajo también sobre el tema ‘Science in India’. Este trabajo de investigación en profundidad sobre la situación de las universidades puso de manifiesto la tendencia continua al retroceso de la ciencia académica.

En estas circunstancias, apenas se puede comparar la calidad de la vida científica en las deterioradas universidades indias con la de los laboratorios públicos de investigación, cuyos edificios en general son nuevos, están bien equipados y tienen siempre acceso a las revistas (e incluso a las redes informáticas internacionales)... Los académicos se lamentan de los distintos problemas del sistema, uno de los cuales parece ser la disminución de la calidad del profesorado de los colegios en los que los estudiantes reciben sus primeros diplomas (*Nature* 1993, 617).

Mientras los países avanzados dedican 30% del gasto nacional total de I y D a la investigación científica académica del sector universitario, en la India esta cifra se estima en 6% (Ahmed y Rakesh 1991). Otras estimaciones señalan una proporción mayor, entre 6 y 10%. El bajo nivel de ayuda presupuestaria ha hecho que la University Grants Commission haya tenido que reducir la expansión de sus programas especiales para fomentar la excelencia académica por medio del patrocinio de Centres of Advanced Study (CAS) [Centros de Estudio Avanzado]. A mediados del decenio de 1990, había sólo 41 CAS en las universidades de toda la India.

Características actuales del retroceso de la ciencia académica

La literatura sociológica (Beteille 1993, entre otros) sobre la situación de las universidades indias y la profesión académica vienen llamando nuestra atención desde hace tiempo sobre la cuestión de la desigualdad que prevalece entre las universidades centrales y estatales, cuya estructura se legitimó desde la famosa Radhakrishna Commission of Education del decenio de 1950. Con los años, esto ha dado lugar a cuatro categorías de instituciones de educación superior (ver Cuadro 3). Dentro del sector académico, el sistema desigual de financiación y ayuda a la investigación científica entre las diferentes universidades e instituciones académicas favorece la aparición de jerarquías entre estos centros. Esto está relacionado con diversos parámetros, desde la excelencia, las publicaciones en revistas de gran tirada, el número de alumnos por profesor a la investigación científica básica que se refleja en la formación en la investigación de los posgraduados y doctores. Como se ve en el estudio de Ahmed y Rakesh (1991), el sector académico, que recibe solamente 6% del total de fondos para I y D, tiene a su cargo 74% de toda la formación científica de posgraduados y doctores. Por otra parte, mientras el sector I y D de las MOSA se lleva 90% del total de fondos para I y D, se encarga solamente de 26% de la formación de posgraduados y doctores. Durante 1987 y 1989, al sector de la ciencia académica en la India le correspondía 50-55% del total de publicaciones en todos los campos de C y T de investigación incluidas en las principales revistas citadas en el SCI. Se puede afirmar con seguridad que la mayor parte de ese 6% del total de fondos para I y D dedicado al sector de la ciencia académica lo consumen principalmente las Universidades Centrales, los Indian Institutes of Technology (IITs), los Indian Institutes Indiso of Science (IISs), algunas instituciones privadas y una pequeña proporción de Universidades Estatales que ascienden a unas 36 de las dos primeras categorías. Es decir, 85% de las instituciones de educación superior (principalmente, universidades estatales o colegios afiliados) reciben muy pocos fondos (o ninguno) para I y D, quedando reducidas a su función de enseñanza.

Cuadro 3: (Categorías) Diferentes de Instituciones de Educación Superior y sus Orientaciones

Grupos de Instituciones de Educación Superior	Nivel de Infra-estructura de Investigación de postgrado y doctorado	Investigación Básica y publicaciones en Revistas de gran tirada	Objetivo Principal	Proporción de profesores por nº de alumnos
Universidades Centrales: JNU, BHU, etc.	Muy alto	Muy alto	Enseñanza e Investigación	Muy buena

IITs, IISc, BITM, IIMs etc	Muy alto	Muy alto	Enseñanza e Investigación	Muy buena
Universidades Estatales y Provinciales	De Medio a Muy bajo	De Muy bajo a Inexistente	Enseñanza: Muy alto Investigación : Bajo	De Media a No Satisfactoria
Colegios Afiliados	De Muy bajo a Inexistente	Inexistente	Enseñanza	No Satisfactoria

Fuente: Basado en Nagpaul (1995); Beteille (1983)

La influencia que el desequilibrio en el reparto de los fondos de investigación entre las instituciones elitistas (Universidades Centrales, IITs, y IISc) y el resto de las universidades tiene en la excelencia y en la ciencia académica del país (entendido en términos de publicaciones en revistas internacionales de gran tirada) quedó demostrada en un importante estudio titulado 'Scientometric Profile of Academic Science in India' que fue patrocinado por el Department of Science and Technology (DST), Nueva Delhi. Aunque este estudio se basa en datos e informaciones relativas al final del decenio de 1980, sus puntos de vista siguen siendo válidos. El estudio DST cubría los perfiles de publicaciones de ciencia, ingeniería, agricultura y ciencias médicas de todas las universidades de la India durante el período comprendido entre 1987 y 1989 como se encuentra en el Science Citation Index (SCI) de EEUU. Como el SCI suele incluir sólo revistas de gran tirada o reconocidas profesionalmente en todo el mundo, se puede tomar como un indicador importante del nivel de excelencia de la investigación científica. En conjunto, este estudio cubría un total de unos 18000 artículos publicados en revistas de gran tirada por los científicos de las universidades indias entre 1987 y 1989, lo que representa entre 50-55% del total de la producción científica india. Como se trataba de analizar las universidades por el perfil de sus publicaciones, este estudio sólo tuvo en cuenta las universidades con un mínimo de publicaciones de 150 artículos durante el período mencionado. Los resultados principales del estudio DST ponen de manifiesto claramente el desequilibrio del que hablábamos.

El resultado fue que solamente 14% de las universidades (33 de 240) contaban con 74% de todos los artículos (13372 artículos de 18000) y 80,5% de todos los artículos de gran calidad, mientras 64% de las universidades (207 de 240) contaban con sólo 25,3% del total de publicaciones en todos los campos de C y T. Dicho de otra manera, 207 universidades publicaron un promedio de 7 artículos por año entre 1987 y 1989 en las revistas incluidas en SCI (Nagpaul 1995). En otro estudio reciente patrocinado por el DST se pone de manifiesto que sólo una pequeña proporción de universidades llevan a cabo investigación básica y tienen publicaciones en el campo de la biología. Este estudio tenía en cuenta para su análisis el total de 20046 publicaciones relativas a la biología en la India durante 1992 y 1994 incluidas en la base de datos internacional BIOSIS (Arunachalam 1999, 1200). Como se deduce de este estudio, a las instituciones académicas, incluyendo algunos colegios, les correspondía 64,5% de todos los artículos mientras que el restante 33,5% procede de MOSA o de otros laboratorios nacionales. Por otra parte, en un análisis de 6077 artículos (de entre 20046 artículos con factores de impacto superiores a 8,0) el estudio revela que 80% de publicaciones corresponde a sólo 16 instituciones académicas, lo que confirma los resultados del estudio anterior.

Para estudiar la relevancia de la ciencia a escala nacional y local para lograr los objetivos socioeconómicos, las revistas y publicaciones incluidas en el SCI no se pueden tomar como un

indicador completo del potencial de C y T. Como estas revistas se consideran como uno de los mejores indicadores para ver el grado de excelencia y el alcance de la contribución al nuevo conocimiento científico, su relevancia para la ciencia académica es bastante significativa y desde luego existe un consenso en la comunidad científica de todo el mundo en este aspecto. Aunque en la India se publican más de 1500 revistas de C y T, en 1997 sólo 10 estaban incluidas en el SCI, frente a 23 en 1984. Esto es sólo un indicio pequeño pero importante de la tendencia descendente de la ciencia y de la cultura académicas (existen unas 440 revistas indizadas e incluidas en una de las bases de datos nacionales o internacionales). Sin embargo, un problema más grave, además de esta tendencia descendente en los círculos intelectuales indios, es el fallo de los sistemas académicos de evaluación interna de las organizaciones científicas y de las instituciones académicas; y los bajos niveles de los sistemas de evaluación interna seguidos por las revistas indias de C y T (Arunachalam 1996). Las academias de ciencias, criticadas severamente por su fracaso general, (Balram 1999, 6) han prestado poca o ninguna atención a la cuestión de mejorar el nivel de las revistas indias. La ciencia académica de las universidades indias se encuentra ante un doble problema. Como afirmaba recientemente un físico del Centre of Advanced Studies in Physics, de la Universidad de Punjab:

El número de universidades no crece de forma proporcional al crecimiento de la población. Los recursos económicos no aumentan en la proporción en que aumentan los precios. El aumento permanente de estudiantes y la disminución de recursos económicos provocaron un ambiente de frustración en las universidades que dio lugar a todos los males que padece actualmente el sistema universitario. La ciencia básica ha sido la primera víctima. Los estudiantes de espíritu competitivo perdieron su interés por la ciencia básica debido al cambio en la situación socioeconómica (Prakash 2000, 1417).

Esto nos trae la cuestión de la tendencia descendente en la educación científica denunciado en repetidas ocasiones por el Profesor J.V. Narliker, importante astrónomo indio, y en los comentarios y correspondencia de la principal revista científica de la India, *Current Science*. A diferencia de lo que ocurría en el período anterior a la independencia y a los decenios de 1950 y 1960, ya no se considera a los científicos como 'modelos' y existe un sentimiento claro de pérdida de legitimidad social de la ciencia. Como señalaba Narliker no hace mucho, un método de enseñanza de la ciencia que fomenta la rutina, unos profesores sin la debida preparación o sin la debida vocación, con escasa consideración social, unos libros de texto mal escritos, y la existencia de otros estudios con perspectivas profesionales más lucrativas que las ciencias, son algunas de las causas que han debilitado a nuestras universidades e instituciones científicas. Aunque los estudios tradicionales, como medicina e ingeniería, siguen estando solicitados, los que más han decaído han sido los de ciencias en general, normalmente a favor del comercio, administración de empresas y tecnologías de la información y comunicación. La etapa actual de liberalización y mundialización ha traído consigo nuevas posibilidades de empleo en viajes, turismo, ocio, y tareas con preparación técnica en el sector industrial. Los alumnos de segunda enseñanza consideran estas áreas más lucrativas que los estudios de ciencias. Como observaba recientemente el biólogo Dr. M. Vijayan de IISc, Bangalore, 'la mundialización también ha traído consigo un enfoque de la ciencia extremadamente comercial... la ciencia ya no se considera una parte de la cultura, sino una parte del comercio' (Vijayan 2000, 1436). Los derechos de propiedad intelectual y el mercado orientado a la creación de riqueza partiendo del conocimiento son dos características de la etapa actual de mundialización que según varios miembros de la comunidad científica académica, tendrán consecuencias graves para la cultura de la ciencia académica en el país.

Muy en relación con la mundialización están el discurso político y las relaciones universidad-industria, y la corporativización de la ciencia académica. En un momento en que los presupuestos para las instituciones de educación superior están congelados, existen fuertes presiones en las universidades, Indian Institutes of Technology y otras instituciones educativas, para llegar a una nueva definición de sus objetivos académicos con miras a institucionalizar las necesidades y demandas de los clientes industriales, especialmente de la Transnational Corporations (TNCs) en la etapa actual de liberalización económica. ¿Pueden las universidades indias fomentar la excelencia académica y al mismo tiempo hacer suyas las demandas comerciales y sociales? A diferencia de las universidades inglesas, como Cambridge y Oxford, o las americanas, como M.I.T., Harvard, Standford y otras, hay un problema real en el caso de las instituciones académicas indias. Como señala el Profesor Beteille:

En Inglaterra, los centros como Oxford y Cambridge pueden superar su imagen medieval y hacer frente a los nuevos tiempos sin sacrificar sus niveles de excelencia académica porque su base institucional ha permanecido firme y segura, y... desgraciadamente, las universidades indias nunca han gozado verdaderamente de esa clase de legitimidad (Beteille 1983, 132-133).

Aunque el Profesor Beteille hizo sus observaciones en un contexto totalmente diferente del problema de la igualdad social, son muy relevantes para la transformación que nuestras universidades están experimentando. En tanto que las universidades e instituciones académicas sigan desarrollando y defendiendo la cultura académica de la investigación y el doctorado, fomentando el valor académico de la excelencia y el mérito, el conocimiento libre, la autonomía en la investigación, la imparcialidad y el avance del conocimiento, no hay problema o si lo hay, no es grave. Por supuesto que las interacciones entre la academia y la industria pueden ser complementarias en muchos aspectos. Pero si los intereses comerciales llegan a ser más importantes que la cultura académica, y los problemas presupuestarios hacen que ganar dinero se convierta en la principal motivación para las universidades, entonces existe el peligro de que se conviertan en prolongaciones de las empresas industriales. Solamente una pequeña parte de nuestras universidades e instituciones académicas está en condiciones de afrontar los retos y demandas de la mundialización, pero la inmensa mayoría está todavía en proceso de profesionalización y desarrollo de las culturas académicas.

Conclusiones

La institucionalización y desarrollo de la ciencia académica en los últimos 150 años no ha sido una tarea fácil. La situación de la ciencia académica ha pasado por períodos de ‘progreso’ y ‘retroceso’ en los momentos anterior y posterior a la independencia. Inmersa en las estructuras de las empresas científicas coloniales y los problemas económicos de la ‘soberanía colonial’, la minoría científica india tuvo que entablar una lucha intelectual no menor que la de sus colegas en el ámbito político (luchando por la independencia de la India). La emergencia y desarrollo de la ciencia académica entre 1900 y el decenio de 1940 está íntimamente ligada a lo que se conoce como la emergencia de la comunidad científica india, que adquirió una identidad propia gracias a su contribución al avance del conocimiento y a haber forjado una cultura de ciencia por primera vez en el país. Con una visión retrospectiva, el período entre 1920 y 1940 se puede considerar el de mayor progreso de la ciencia académica en la India, en relación con las circunstancias del momento.

Después de la independencia, Pandit Nehru desempeñó un papel importante en la construcción de la India independiente, en la que las instituciones de ciencia y tecnología y la expansión del sistema universitario alcanzaron una importancia sin precedentes, tanto en el ámbito del discurso político como en el de la implantación. Sin embargo, por distintas razones, la creación de la infraestructura para la ciencia y la tecnología en el ámbito de las MOSA ha ido en detrimento de la ciencia académica básica en las universidades, si bien este sector experimentó una expansión considerable. Las políticas para la ciencia y la tecnología que impulsaron el desarrollo de los laboratorios nacionales y el sistema de I y D en el ámbito de las MOSA bajo los auspicios del gobierno, fueron debilitando progresivamente la ciencia académica, contribuyendo a su retroceso en el período posterior a la independencia. Existen tres motivos fundamentales para este retroceso de la ciencia académica:

- La tradición de una cultura política- burocrática en la ciencia y la tecnología pues éstas estaban representadas por la 'elite científica' que disfrutaba de un poder considerable por tener acceso a los 'pasillos del poder' desde los días de Pandit Nehru. La 'minoría poderosa' científica era invariablemente extraída o constituida partiendo del ámbito de las MOSA y no de los centros académicos o de las universidades. Se puede considerar que el *locus* de esta 'minoría poderosa' científica ha condicionado la distribución de los recursos y la función que la ciencia académica podía desempeñar en todo el sistema nacional de innovación. Las universidades se consideraban más como instituciones de enseñanza que como bases institucionales para la ciencia académica. Las ayudas externas procedentes de las MOSA constituyeron siempre una proporción muy pequeña del gasto total en ciencia y tecnología.
- Fuera de esta elite, las tres academias nacionales de ciencia, incluso el organismo principal, la Indian National Science Academy, por tradición no tenían ninguna consideración oficial, ni siquiera un consejo de gobierno. En cualquier caso, estos organismos apenas han iniciado un discurso político sobre el desarrollo de la ciencia académica y la situación de las universidades y colegios. Por otra parte, diversos artículos de Shils, Beteille y otros han llamado la atención sobre el hecho de que la profesión académica y la minoría universitaria son igualmente responsables del deterioro de la ciencia académica en la India. La oposición entre el sistema universitario central y los estatales también ha contribuido a agudizar este problema.
- Las políticas sobre la ciencia y la tecnología públicas que fomentaron y extendieron el sistema de I y D en el ámbito de las MOSA no supieron apreciar la importancia de la ciencia académica y la base de ésta, es decir, las universidades y los colegios afiliados. Desde luego, las MOSA y las universidades se consideraban organismos paralelos en vez de complementarios y por ello la colaboración entre los dos sectores ha sido mínima.

La ciencia académica está íntimamente relacionada con las comunidades científicas, la investigación básica y la generación y aplicación de conocimientos sistemáticos, con frecuencia en forma de 'producto público'. La ciencia académica y la educación superior de las universidades han sido las principales fuentes de recursos humanos profesionales. Y más aún, siguen siendo la fuente principal de conocimiento, tanto básico como aplicado, y tanto más

cuanto que las nuevas tecnologías, como las biotecnologías y las tecnologías de la información y comunicación y las ciencias de la agricultura, en el momento actual, dependen cada vez más de la ciencia académica. Con la llegada de la mundialización y los nuevos sistemas internacionales de derechos de propiedad intelectual, no parece probable que las formas convencionales de transmisión de la tecnología tengan lugar entre el norte y el sur. Para los países del mundo en desarrollo dependientes de la agricultura (que están en vías de fomentar e incorporar las nuevas tecnologías) no existe otra salida que el desarrollo de las competencias locales de la investigación científica. Las competencias locales en ciencias biológicas y agrícolas dependen en una gran medida de la ciencia académica básica. Por encima de todo, las universidades han desempeñado una función histórica en el desarrollo de la cultura científica académica y, en la época actual de mundialización, tienen la misión desafiante de impedir que esta 'cultura' sea superada por las 'fuerzas del mercado'.

Traducido del inglés

Notas

1. Esta parte está tomada de (Krishna 1992).
2. De hecho, algunos colaboradores de Bose sí patentaron su invento, pero Bose se negó a renovar la patente por interpretar la ciencia como un conocimiento libre', y finalmente la patente prescribió.
3. Los científicos que colaboraban con Raman eran: A.Dey, S.K. Banerjee, S. Appasamyar, S.K. Mitra, D.N. Ghosh, D. Banerjee, T.J. Chinmayanandan y K.S. Rao.
4. Algunos de los nombres más famosos en el campo de la química que formaban parte de la escuela india de química al mando de P.C.Ray eran: Rasik Lal Datta, Nilratan Dhar, Jnanendra Chandra Ghosh, Jnanendra Nath Mukherjee, Pulin Behari Sarkar, A.C. Ghosh, P.C. Bose y G.C. Chakravorti.
5. Incluso en 1936 cuando S.Chandrasekhar (indio nacido en América que obtuvo el Premio Nobel en 1983) regresó de Inglaterra a la India con un doctorado y quiso un puesto de profesor en una universidad india, el entonces Director de Instrucción Pública del gobierno colonial, se negó a hacerle esa oferta. Tuvo que ir a la Universidad de Chicago donde inmediatamente le ofrecieron un puesto. En una entrevista publicada más tarde, recordaba Chandrasekhar que en el departamento colonial que trató con él 'eran más bien descorteses' (Wali 1987: 282).
6. Tomado del Congress Party Manifiesto publicado el 11 de diciembre de 1945 e impreso en (Sitaramayya 1969)
7. Estas citas de Nehru están en publicadas hace ya algún tiempo en *STS writings*. Para la primera parte de esta cita, ver *Science Reporter*, julio-agosto 1, Volumen 1 (7-8), 1964. La segunda parte de la cita es de 'The Tragic Paradox of our Age', *New York Times Magazine*, 7 de septiembre de 1968.

Referencias

- ARUNACHALAM, S. 1999. "Mapping Life Sciences Research in India: A Profile Based on BIOSIS 1992-1994", *Current Science*, 76(9):1191-1203.
- ARUNACHALAM, S. 1996. "Science on the Periphery Enriches Mainstream Science, but at What Cost? The Case of Ethnobotany", en R.Waast (ed) *Sciences in the South: Current Issues*, Volumen 6, París: Orstom.
- AHMED, R. and M.RAKESH. 1991. *Insight into Scientific Research in Indian Universities and & The Institutes of Technology*, Nueva Delhi.
- BALRAM, P. 1999. "A Profusion of Academies", *Current Science*, 77(1): 5-6.
- BASALLA, G. 1967. "The Spread of Western Science", *Science*, 5 de mayo de 1967, 3775, 156:611-22.
- BETEILLE, A. 1983, *The Idea of Natural Inequality and Other Essays*, Delhi: Oxford University Press.
- BHABHA, H. 1966. "Science and the Problems of Development", *Science*, 4 de febrero: 541-48.
- BHATTACHARYA, D.P., R.CHAKRAVARTY and R.D.ROY. 1989. "A Survey of Bengali Writings on Science and Technology", *Indian Journal of History of Science*, 24(1):8-66.
- IACS 1976. *A Century* (Volumen conmemorativo del centenario), Calcuta: Indian Association Cultivation of Science.
- KRISHNA, V.V. 1992. "The Colonial 'Model' and the Emergence of National Science in India: 1876-1920", en P.Petitjean et.al (eds) *Science and Empires*, The Netherlands: Kluwer Academic Press.
- KRISHNA, V.V. 1993. *S.S. Bhatnagar on Science, Technology and Development, 1938-1954*, Nueva Delhi: Wiley Eastern Limited.
- KRISHNA, V.V. 1997. "A Portrait of the Scientific Community in India: Historical Growth and Contemporary Problems", en J. Gaillard, V.V. Krishna y R. Waast (eds) *Scientific Communities in the Developing World*, Nueva Delhi: Sage Publications.
- KUMAR, D. 1995. *Science and the Raj 1857-1905*. Delhi: Oxford University Press.
- MACLEOD, R. 1975. "Scientific Advice for British India: Imperial Perceptions and Administrative Goals", *Modern Asian Studies*, 9(3): 343-84.

NAGPAUL, P.S. 1995. *Scientometric Profile of Academic Science in India*, (Patrocinado por el Departamento de Ciencia y Tecnología) Nueva Delhi: NISTADS.

NATURE, 1984. "Science in India", *Nature*, 308, 12 de abril de 1984.

NATURE, 1993. "Science in India", *Nature*, 366, 16 de diciembre de 1993.

PRAKASH, S. 2000. "Reformation of Science Education in Indian Universities", *Current Science*, 78(12): 1417-18.

RAY, P.1958 *Autobiography of a Bengali Chemist*, Calcuta: Orient Book Company.

ROSENBERG, N.1990. "Science and Technology Policy for the Asian NICs: Lessons from Economic History", en R.E. Evenson and G. Ranis (eds), *Science and Technology Lessons for Development Policy*, Londres: Intermediate Technology Publications.

SEN, S.N.1954.*Professor Meghnad Saha: His Life, Work and Philosophy*, Calcuta: M.N. Comité para el 60° aniversario de Saha

SEN, B.K. and V.V.LAKSHMI. 1992. "Indian Periodicals in the Citation Index", *Scientometrics*, 23(2): 291-318.

SITARAMAYYA, P.1969 *History of the Indian National Congress (Vol. 2)*, Delhi: S.Chand and Co.

SHILS, E. 1969. "The Academic Profession in India", *Minerva (Primavera)* 7

VIJAYAN, M. 2000. "International Interactions in Science – The Indian Experience", *Current Science*, 78(12): 1430-37.

WALI, K.C. 1987. *Chandra: A Biography of S. Chandrasekhar*, Calcuta: Penguin Books India.

Nota biográfica

James Mullin, consultor de política científica y tecnológica, fue Presidente de lCommittee on S&T Policy [Comité de la OCDE para la Política Científica y Tecnológica]. Durante diez años ha sido ejecutivo principal del International Development Research Centre de Canadá [Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo]. En 1998 presidió una inspección de las instituciones de C y T del gobierno de Sudáfrica y en 1999 una inspección de las actividades de ciencia, tecnología e innovación en Chile. Actualmente es consejero de políticas para la ayuda a los institutos tecnológicos públicos de Chile. Correo electrónico: jmullin@compmore.net.

El cambio de modelos en la financiación de la investigación

James Mullin

En los últimos cuarenta años del siglo XX las inversiones en investigación científica y desarrollo tecnológico han experimentado un incremento espectacular. En la actualidad, incluso los estados más pequeños del mundo en desarrollo se están planteando el tipo de inversiones que tendrán que hacer en este mundo cada vez más abierto y “mundializado”.

Este incremento ha ido acompañado de cambios sustanciales en la sociología de la investigación debidos en parte a las crecientes expectativas y demandas de los que financian la investigación. En este artículo se afirma que los cambios en las demandas se reflejan en los cambios que se han producido con respecto al volumen y los modelos de financiación de la investigación, especialmente en las ciencias naturales y la ingeniería.

Dos enfoques diferentes de la investigación

La idea de cómo ‘se debe llevar a cabo’ la investigación que se mantenía en general a principios del decenio de 1960 fue expresada por Michael Polanyi, químico y miembro de la Royal Society de Londres, en su artículo “The Republic of Science” [La República de la Ciencia] en el que defendía que “en tanto que cada científico siga haciendo la mejor aportación de la que es capaz y que nadie pueda mejorar (...) podemos afirmar que el avance de la ciencia por iniciativas independientes auto-coordinadas garantiza la organización más eficaz posible del progreso científico. Y podemos añadir, una vez más, que si alguna autoridad emprendiera la tarea de dirigir el trabajo de los científicos desde el centro, el progreso de la ciencia prácticamente se estancaría” (Polanyi, 1962, p.56).

Mediado el decenio de 1990, surgieron otras voces afirmando que existían ‘nuevas formas de producción de conocimiento’ en las que:

- se produce siempre más conocimiento en el contexto de sus aplicaciones, y es muy probable que la ayuda a la investigación produzca beneficios directos, económicos y sociales, para la nación que proporciona la ayuda;
- existe una tendencia ineludible hacia la formación de equipos más grandes e interdisciplinarios que trabajan en actividades de investigación también más interdisciplinarias;
- existe una diversidad creciente de organizaciones que participan actualmente en los equipos de investigación (las fronteras institucionales se difuminan) y éstos son cada vez más efímeros, desapareciendo al terminar el proyecto o programa encomendado;
- existe una tendencia permanente a intensificar las relaciones internacionales entre los equipos de investigación.” (Gibbons et al., 1994).

Las manifestaciones más claras de estas formas nuevas son las redes *formales* de investigadores que han aparecido en los últimos años, especialmente en los países industrializados. Pero hay que destacar que en la investigación de los países en desarrollo, financiada por los donantes oficiales de ayuda al desarrollo, la modalidad de la red de investigación formal es conocida desde hace tiempo (ver, por ejemplo, Smutylo & Koala, 1992) y en algunos casos, se ha considerado una alternativa a las ‘escuelas invisibles’ de científicos que colaboran entre sí, y que abundan en la “Republic of Science”. De Solla Price (1963), el primero en nombrar a estas ‘escuelas invisibles’, las describe como “colectivos informales de científicos que interactúan estrechamente, de unas proporciones en general limitadas, que las hacen manejables para las relaciones interpersonales”.

En la “Republic of Science”, la modalidad de financiación preferida era, y sigue siendo, la subvención concedida a investigadores basada en criterios de calidad científica de la actividad propuesta, de la probabilidad de que los resultados contribuyan al avance del conocimiento, y en la trayectoria del científico en cuestión. Estas ayudas en las que el científico que hace la propuesta selecciona los objetivos científicos se llaman en Canadá ‘subvenciones a la investigación’, y así se les llama también en este artículo.

Actualmente, estas subvenciones a la investigación se complementan en muchos países con toda una serie de otras modalidades, que a menudo tienen más de contrato que de subvención y en ellas la fuente de financiación puede exigir que la actividad aborde alguna cuestión económica o social o que adopte alguna forma nueva de cooperación científica, o ambas cosas. Muchas de estas nuevas modalidades requieren mayores cantidades de dinero que las subvenciones a la investigación. En la mayoría de los países, existen modalidades especiales que tratan de fomentar la cooperación entre la industria y la universidad y, en muchos países, programas de fomento y ayuda a las redes.

A principios del decenio de 1980, dos estudiosos señalaron a los políticos, un punto importante en lo referente a la significación de las diferentes modalidades de financiación. En un artículo en el que estudiaban todas las subvenciones a la investigación que concedían los principales organismos de ayuda en el ámbito de las ciencias naturales y la ingeniería en Canadá y en el Reino Unido durante un período de diez años, defendían que el proceso de inspección interna, como se aplicaba a la selección de destinatarios de las subvenciones a la investigación, fomentaba una gran estabilidad en la distribución de fondos, por disciplina y por institución académica (Gibbons y Farina, 1982). No había pruebas de que a los destinatarios de las subvenciones

personales les afectaran de alguna forma los cambios de prioridades gubernamentales. Cuando los gobiernos deseaban influir en la dirección de las actividades de ciencia académica, tenían que introducir modalidades nuevas y concretas que pudieran incorporar explícitamente los criterios adicionales deseados por el organismo patrocinador.

Partiendo de esta afirmación, estudiaremos en este artículo cómo los gobiernos han cambiado la asignación relativa de fondos entre las subvenciones a la investigación y otras formas de ayuda económica, lo que nos confirmará que las autoridades financiadoras tratan cada vez más de orientar o dirigir la ciencia en la línea de las “nuevas formas de producción de conocimientos” postuladas por Gibbons y sus colegas (Gibbons et al., 1994, *op. cit.*). También se estudia el cambio de intereses en las políticas de gobierno relativas a la ciencia y la tecnología en un intento de entender el contexto político en el que se han tomado y se siguen tomando las decisiones relativas a la financiación de la ciencia.

En los apartados siguientes, hay un estudio de los datos que tenemos de Canadá para analizar el cambio de modelo de financiación de la ciencia, seguido por una serie de resúmenes de cómo, en el fondo, están ocurriendo los mismos procesos en dos países en desarrollo, Chile y Sudáfrica. Las definiciones de ciencia, investigación y otras actividades relacionadas, empleadas en este artículo, a menos que se diga lo contrario, serán las empleadas por la OCDE en su compilación de estadísticas comparables a escala internacional en el área de ciencia y tecnología (OCDE 1964).

Como este artículo trata del cambio de modelos en la financiación de la ciencia, más que de niveles absolutos de financiación, la mayor parte de los datos que se ofrecen se expresan, cuando ello es posible, en términos de índices de porcentaje de los productos nacionales. Cuando se citan valores absolutos, se hace en moneda nacional (para evitar las dificultades de tener en cuenta los índices fluctuantes de cambio durante un largo período de tiempo) y en general están normalizados en relación con una unidad constante de moneda nacional en un año concreto para eliminar la cuestión de la inflación.

La evolución de las teorías de los gobiernos sobre la ayuda a la ciencia y la tecnología

En el mundo industrializado, la OCDE, a través de su Committee on Scientific and Technological Policy (CSTP) [Comité para la Política Científica y Tecnológica], ha constituido un foro en el que se ha tratado de sintetizar provechosamente las mejores teorías sobre políticas científicas y tecnológicas de los países miembros. Periódicamente, se dedica a analizar las políticas de los países miembros haciendo posible que grupos de alto nivel, compuestos por personalidades de prestigio reconocido en teorías sobre ciencia y tecnología, estudien las direcciones futuras de la política científica y tecnológica. El informe Pigagnol (OCDE 1963) fue la primera llamada de la OCDE a los gobiernos para que éstos prestaran la máxima atención a la cuestión del apoyo al sector de I y D pues reconocía abiertamente la relación entre la actividad científica y técnica y el dinamismo de la economía. Un año después, el CSTP publicó el Manual Frascati (OCDE 1964) que desde aquel momento estableció las bases para medir las actividades de C y T en los países industrializados. Era la época en la que la US National Academy of Sciences [Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos] publicaba su informe titulado “Basic Research and National Goals” [Investigación Básica y Objetivos Nacionales] (NAS 1965) y el estudioso Michael Polanyi defendía su tesis de la “Republic of Science” (Polanyi 1962) en el que todas las decisiones relativas a la financiación de la ciencia tenían que tomarlas los científicos en activo.

En esta etapa de elaboración de las primeras teorías sobre la política de C y T se hacía hincapié en los insumos para I y D, su financiación, la disponibilidad de personal altamente cualificado y de medios de laboratorio, y las funciones de las instituciones y programas públicos.

A partir del Informe Pigagnol, la OCDE, a razón de aproximadamente una vez por decenio, ha divulgado los aspectos principales de las teorías sobre las políticas de C y T del mundo desarrollado. El Informe Brooks (OCDE 1971) recogía el estado del debate sobre cuestiones como la integración de las políticas científicas con las políticas económicas y sociales, y la función de las empresas multinacionales en el progreso técnico, y planteaba el tema de en qué medida estaba afectando el cambio tecnológico al medio ambiente. En aquel momento, crecía la preocupación por la dificultad de medir los rendimientos de los sistemas de I y D. Más tarde vino el Informe Delapalme (OCDE 1980) que trataba con detalle la necesidad de emprender iniciativas para armonizar las políticas económicas y las tecnológicas y preguntaba cómo los gobiernos miembros de la OCDE podían “llegar a una síntesis de políticas de ajuste económicas, tecnológicas y sociales que optimizara las contribuciones del desarrollo tecnológico al desarrollo económico y social”.

Todos los países, tanto los desarrollados como los en desarrollo, siguen trabajando para llegar a esa síntesis. En aquel momento, a principios del decenio de 1980, se estaba empezando a reconocer que lo más acertado era prestar atención a todo el proceso de innovación tecnológica y no solamente al sector de I y D. También en ese momento, la OCDE empezó a estudiar la cuestión de las relaciones entre la empresa y la universidad en temas de I y D.

Por último, una serie importante de informes de la OCDE titulada *Technology and Economic Policy* [Política Tecnológica y Económica] de principios del decenio de 1990, situaba las teorías sobre el cambio tecnológico en el centro de la política económica, aun cuando muchos economistas actuales no acaban de saber las consecuencias de esta postura.

El trabajo de la OCDE que culminó en *Technology and Economic Policy* supuso un estímulo para el acometimiento de importantes iniciativas que trataban de explicar el significado político del concepto de ‘sistemas nacionales de innovación’. Probablemente, la publicación que más influencia tuvo fue la editada por el estudioso danés Lundvall (Lundvall 1992).

Actualmente, los países industrializados han llegado a la conclusión de que el cambio tecnológico es la fuerza motriz principal para el desarrollo de sus economías. Por otra parte, también está entendido que el cambio tecnológico tiene dos fuentes primarias: la innovación tecnológica y la difusión de la tecnología. Este último concepto tiene una importancia crucial y conlleva en sí la necesidad de que el destinatario de la tecnología participe en un proceso continuo de innovación para adaptar la tecnología adquirida a las necesidades de los mercados y sistemas de producción del usuario de la tecnología.

Simplificando quizás demasiado, se puede decir que, en los países industrializados, el decenio de 1960 y principios del de 1970 fue la época de las *políticas de la ciencia*, el final del decenio de 1970 y el decenio de 1980, la de *políticas de la ciencia y la tecnología* y el decenio de 1990, la de las *políticas de la ciencia, la tecnología y la innovación*. En estos años ha habido un proceso mundial de aprendizaje acumulativo de toda la serie de cuestiones que hay que tener en cuenta

cuando se trata de aprovechar el cambio tecnológico para el desarrollo nacional económico y social.

Las teorías sobre política científica y tecnológica del Banco Interamericano de Desarrollo

Durante muchos años el Banco Interamericano de Desarrollo ha ejercido una influencia considerable en las teorías de los países americanos sobre la financiación de C y T. La evolución de la política y práctica del BID con respecto a la financiación de C y T ha sido estudiada y documentada por Mayorga (Mayorga 1997) y este comentario se basa en su análisis.

El BID sigue actuando formalmente según una Política de C y T (OP-744) explícita adoptada en 1968. Durante los primeros veinte años (1968-1987), el Banco:

‘se centraba casi exclusivamente en actividades e inversiones con una única finalidad básica: la creación de competencias científicas y tecnológicas en las universidades y centros públicos de investigación [enfaticado en el original]. Para conseguir este objetivo se empleaban dos tipos de procedimientos: (a) becas de postgrado en el extranjero para la formación y especialización de los investigadores de estas instituciones y (b) inversiones para la construcción y equipamiento de infraestructuras de I y D, como laboratorios, bibliotecas y centros informáticos.’ (Mayorga, 1997, p.2).

Esta preocupación por los insumos a los sistemas nacionales de I y D reflejaban el pensamiento de aquel momento de muchos países de la OCDE. En efecto, el Banco estaba siguiendo políticas como las que se trataban en el Informe Pigagnol de la OCDE.

Mayorga continúa:

‘Hacia finales del decenio de 1980, se hizo evidente un segundo objetivo estratégico en las actuaciones de C y T del Banco: la estimulación directa de la demanda por la empresa privada y la relación entre productores y usuarios del conocimiento y de las técnicas’.

Y esto lo considera una consecuencia natural de la creciente atención que se está prestando, en las políticas económicas de los países miembros, a las cuestiones de la productividad y competencia internacionales. Este cambio en las prioridades fue adoptado sin considerar necesario ningún cambio en la exposición formal de la política de C y T del Banco. Una vez más, se puede ver aquí una forma de pensar consecuente con el interés cada vez mayor por la innovación tecnológica que era patente en el trabajo de la OCDE.

Fue durante este último período de los créditos del Banco cuando se acentuó el interés por los sistemas de inspección interna en las operaciones del Banco, pues éste consideraba las inspecciones como ‘una práctica eficaz para establecer niveles estrictos de calidad para I y D’. (Es decir, los niveles de la ‘Republic of Science’).

A finales del decenio de 1990, todavía antes de cualquier enmienda formal en la política del Banco OP-744, la composición de los créditos del BID para C y T había cambiado notablemente y se podía considerar que incluía muchos de los siguientes elementos:

- *Fondos para el desarrollo tecnológico*, normalmente en forma de línea de crédito disponible para las empresas, destinados a la introducción de productos, procesos o servicios nuevos o mejora de los existentes y financiados normalmente o bien por créditos para reembolsar, por financiación de riesgos y beneficios compartidos, o por subvenciones destinadas a la propiedad conjunta de los resultados de la actividad;
- *Concursos para obtener una financiación no-reembolsable para proyectos de investigación y servicios de C y T*, destinados a las instituciones académicas, institutos y organismos gubernamentales y organizaciones privadas sin ánimo de lucro;
- *Formación de Recursos Humanos*, financiable por medio de subvenciones o créditos, dependiendo de las circunstancias;
- *Mejora de infraestructuras*, sujeta a criterios de inspección mucho más estrictos que en el primer período de la actividad del banco para C y T;
- *Difusión de la tecnología*, que preveía el desarrollo de los sistemas de ampliación tecnológica e industrial y la creación de nuevos tipos de centros tecnológicos;
- *Actividades de información y divulgación*, para aumentar el conocimiento de la gente de las actividades de C y T y el apoyo a éstas; y
- *Estudio y coordinación de las políticas para los Sistemas Nacionales de Innovación*.

Estos cambios se están desplazando hacia la adopción de algunos de los criterios de las “nuevas formas de producción del conocimiento”.

Así pues, éste era el contexto de cambio en el que los gobiernos en particular trataban de decidir la asignación de recursos a una serie de actividades variadas en ciencia y tecnología durante el período de la inspección. En lo que queda de este artículo, trataremos de ver qué ocurrió, sobre todo, con la financiación de la investigación científica.

El caso de Canadá

Canadá es uno de los países industrializados de tamaño mediano que, en los últimos treinta o cuarenta años, ha venido ocupando aproximadamente el séptimo lugar en el gasto en I y D medido por la relación entre su gasto bruto en I y D (GERD) y su PIB. El GERD de Canadá ha representado en general en torno a 1,5% del PIB en los últimos años. [Aquí, es preciso destacar que en un país como Canadá, los gastos en I y D suelen representar en torno a 60% del gasto nacional en ciencia y tecnología y el 40% restante se dedica a ‘actividades científicas relacionadas’ como recogida de datos, servicios de información, niveles y pruebas y en general todas las actividades que representan elementos esenciales de la infraestructura tecnológica de una economía moderna.]

Canada's GERD to GDP Ratio

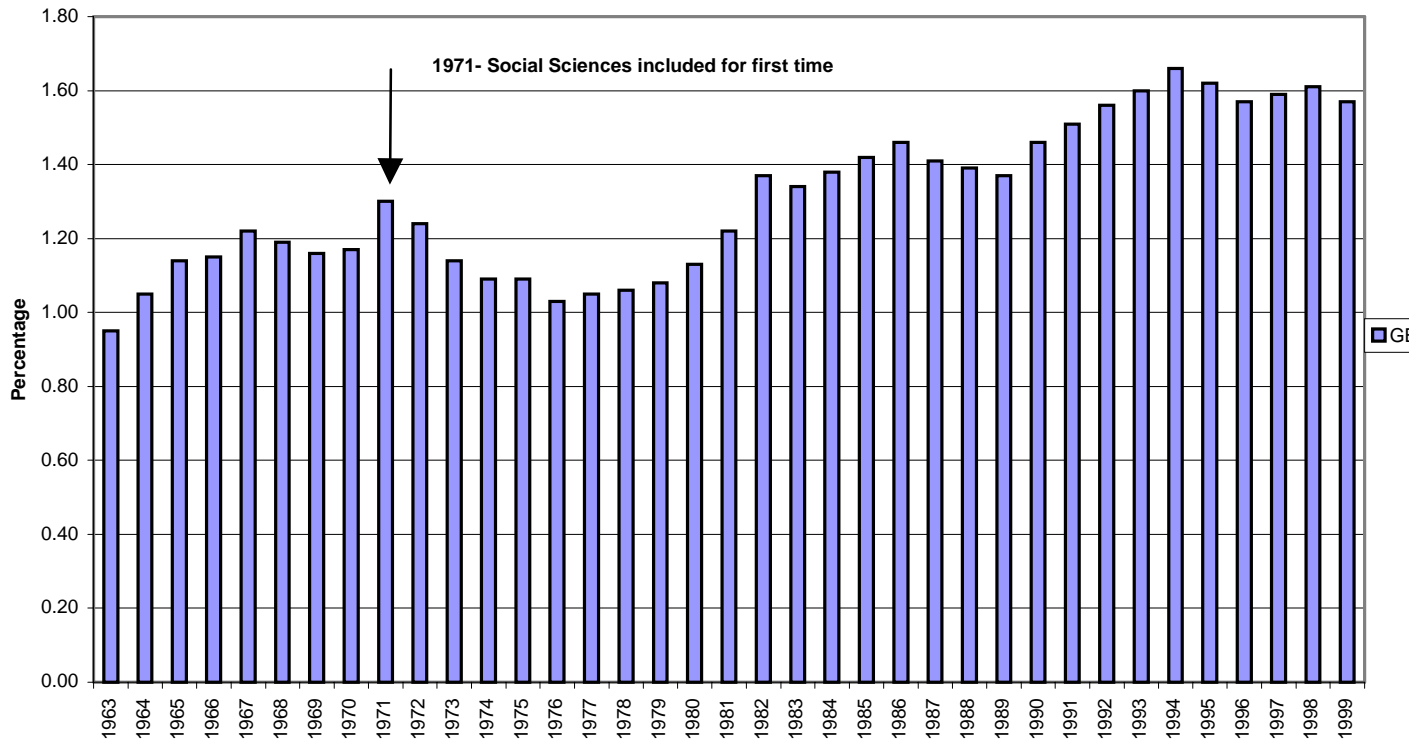


Figura 1 – Relación entre el GERD de Canadá y su PIB

Fuente: Industry Canada

Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución de las actividades de C y T en Canadá por sectores, primero por fuentes de financiación y después por actor en el período posterior a 1963 y reflejan claramente los resultados de la política canadiense a lo largo de los años.

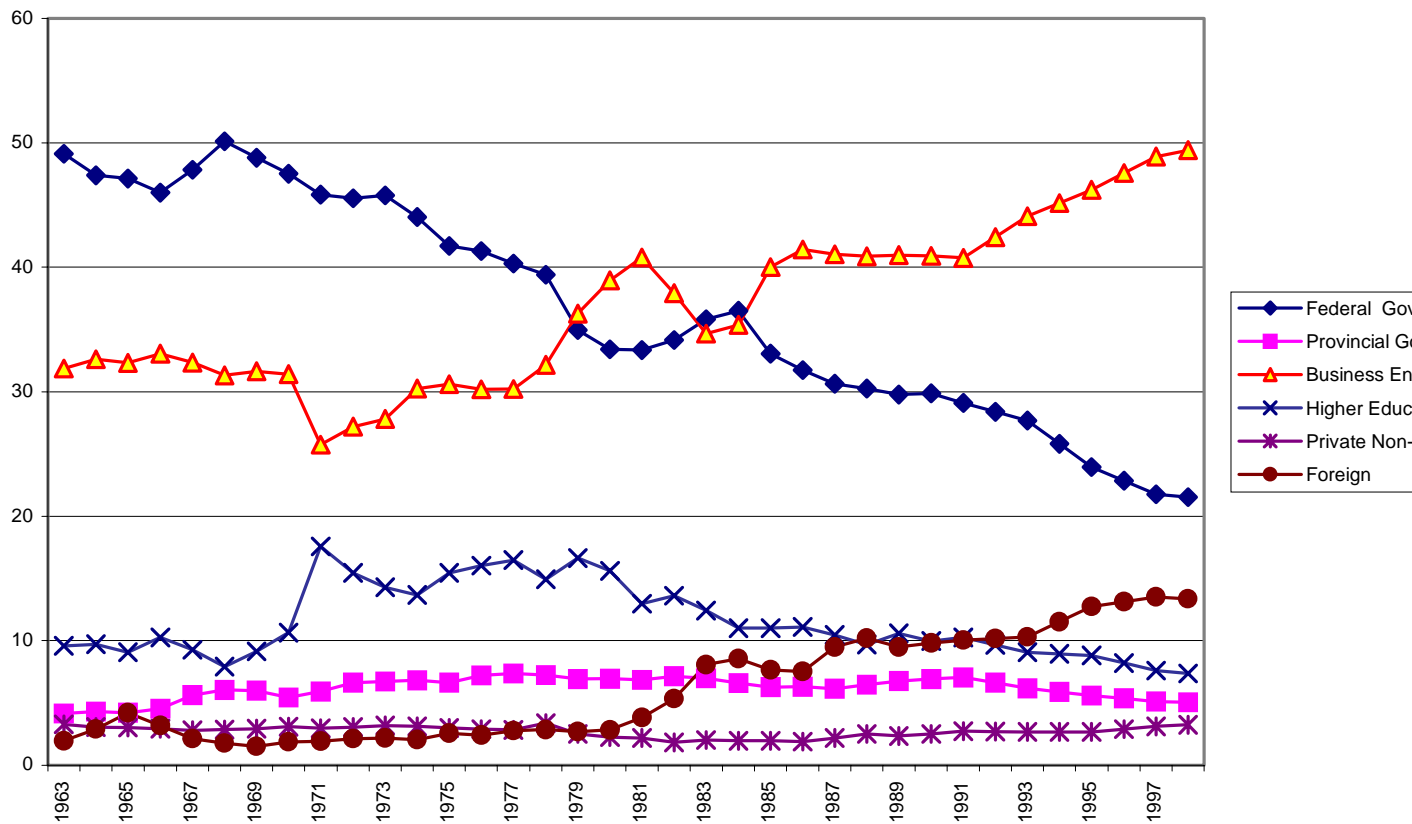


Figura 2: Distribución, por fuente de financiación del gasto bruto de Canadá en I y D, 1963-1998

Fuente: Estadísticas Canadá. Estimaciones del gasto canadiense en I y D (GERD) durante varios años

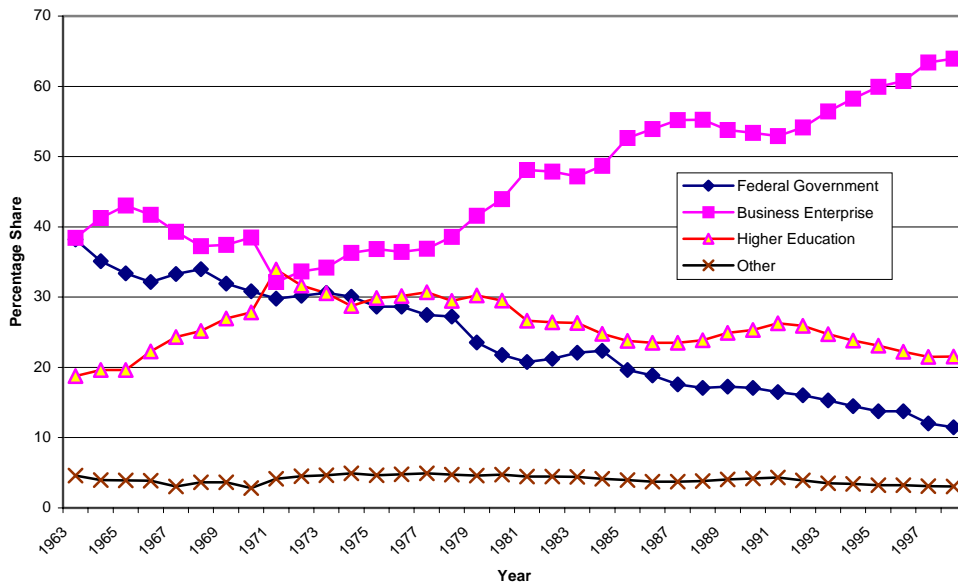


Figura 3: Distribución por actor del gasto bruto de Canadá en I y D, 1963-1998

Fuente: Estadísticas Canadá. Estimaciones del gasto canadiense en I y D (GERD) varios años

- Como consecuencia de la combinación de las fuerzas del mercado y la política del gobierno (especialmente una política generosa en incentivos fiscales para I y D industrial), el sector empresarial se ha convertido en el principal actor y fuente de financiación de I y D en Canadá;
- Como consecuencia de la política C y T y macroeconómica (que ocasiona reducciones significativas del gasto público en todas las áreas de actividad gubernamental), el índice de I y D financiado y realizado por el gobierno federal ha disminuido considerablemente; y
- En el sector académico, tras haber alcanzado el índice más alto de realización sólo durante un año (1971), empezó un lento descenso de ese índice durante un período de casi treinta años.

Las figuras 2 y 3 tratan de toda la actividad del país. Sólo para las ciencias naturales (excluyendo la salud y las ciencias sociales y humanas el panorama es similar, excepto que el índice del que goza el sector académico varía en una estrecha franja. Pero el panorama para la financiación de la investigación es claramente distinto como se puede ver en la Figura 4.

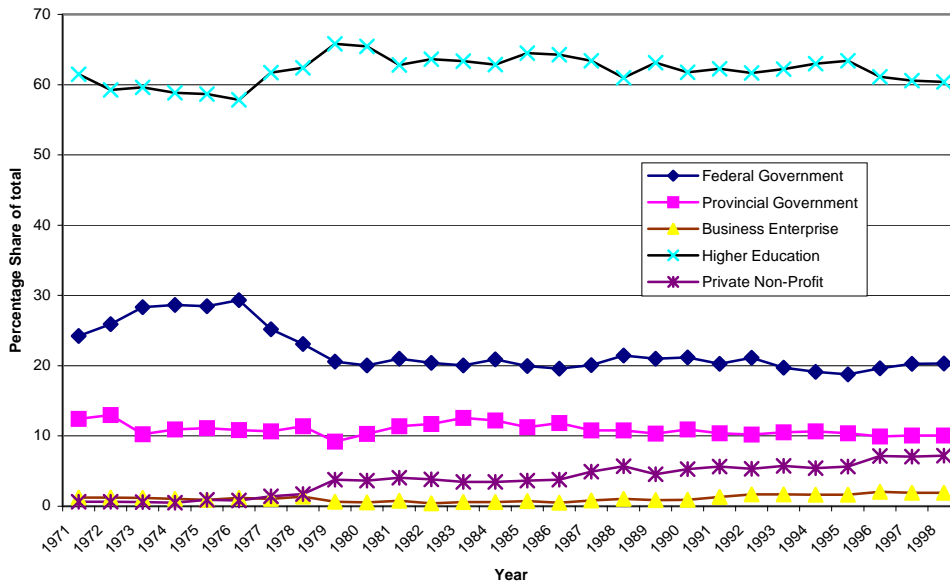


Figura 4: Fuentes de financiación de la investigación de las ciencias sociales en Canadá, 1971-1998

Fuente: SSHRC, Comunicación privada

En las ciencias sociales, como los costes salariales son un elemento importante de la investigación, el sector de la educación superior es la fuente dominante de financiación. El modelo de financiación de la investigación ha sido bastante estable durante mucho tiempo y es muy parecido al modelo de realización.

En todo el período revisado, la realización de la investigación dirigida por el investigador ha sido básicamente, pero no exclusivamente, el ámbito de las universidades. La distribución de las fuentes de financiación de las universidades canadienses está en la Figura 5.

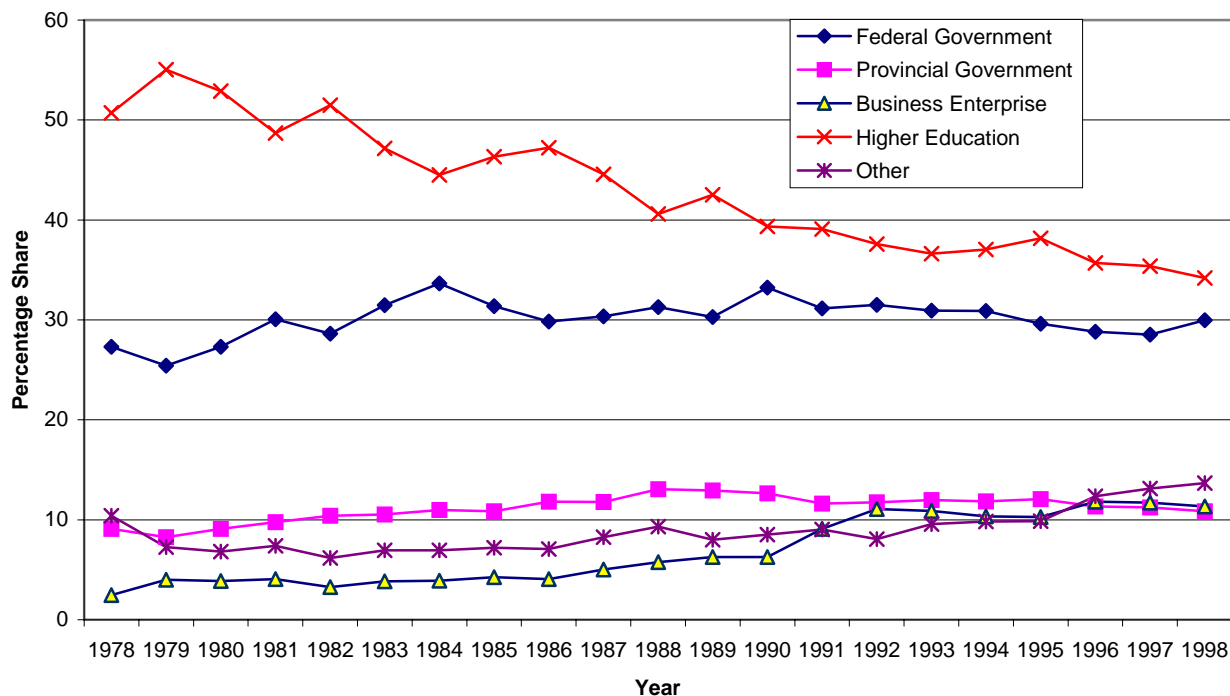


Figura 5: Fuentes de financiación de I y D en las universidades canadienses

Fuente: Estadísticas Canadá, Estimaciones del gasto canadiense en Investigación y Desarrollo (GERD) varios años

En esta figura hay que señalar que:

- Las estimaciones de gasto atribuidas al sector de la educación superior incluyen los salarios de los investigadores académicos, una gran parte de la inversión en infraestructura y pequeñas cantidades de ayuda directa a los proyectos de investigación; este índice ha experimentado un descenso más o menos firme durante muchos años;
- El índice federal que será analizado más tarde, ha oscilado en torno a 30 % del total;
- El índice financiado por empresas ha pasado de 2,5% a principios del decenio de 1960 a algo menos de 12% a finales del de 1990; y
- El índice de “Otras Fuentes” tras permanecer entre 7 y 9% durante una gran parte del período, ha experimentado un notable repunte en los últimos tres años. Una gran parte de esta financiación es aportada por organismos voluntarios interesados en diferentes problemas médicos; también existe un componente extranjero, otra vez primariamente en el campo de la salud.

Una proporción muy alta de la ayuda federal a la investigación en las universidades canadienses (normalmente en la franja entre 80-85%) la aportan los tres “Granting Councils” [Consejos de Subvenciones], que empezaron a actuar como lo hacen actualmente, en 1978. Estos Consejos son: el Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC) [Consejo de Investigación

de Ciencias Naturales e Ingeniería], el Medical Research Council (MRC) [Consejo de Investigación Médica] y el Social Sciences and Humanities Research Council (SSHRC) [Consejo de Investigación de Ciencias Sociales y Humanidades]. En 1998, un nuevo actor entró en escena con la creación de la Canadian Foundation for Innovation (CFI) [Fundación Canadiense para la Innovación], organismo destinado a apoyar la adquisición de los principales elementos nuevos para el equipamiento de la investigación en las universidades de Canadá y en los hospitales de investigación.

En la Figura 6 se ve el modelo de ayuda federal a I y D en las universidades del país procedente de los Granting Councils y de otros departamentos y organismos federales que ofrecen contratos para determinadas partes de la investigación. También se ve el peso relativo de la inyección de nuevos fondos federales para equipamiento via CFI. El aspecto principal que hay que tener en cuenta es la estabilidad relativa de este modelo especial antes de la introducción del CFI, que se describió como una iniciativa de ‘renovación’ de la investigación básica nacional. El acierto de la nueva iniciativa estaba estrechamente unido a dos factores: el re-establecimiento de un incremento en el presupuesto federal por primera vez en más de treinta años y la convicción del Ministro Federal de Finanzas de que las inversiones en la infraestructura de la investigación representaban una base importante para la competitividad económica.

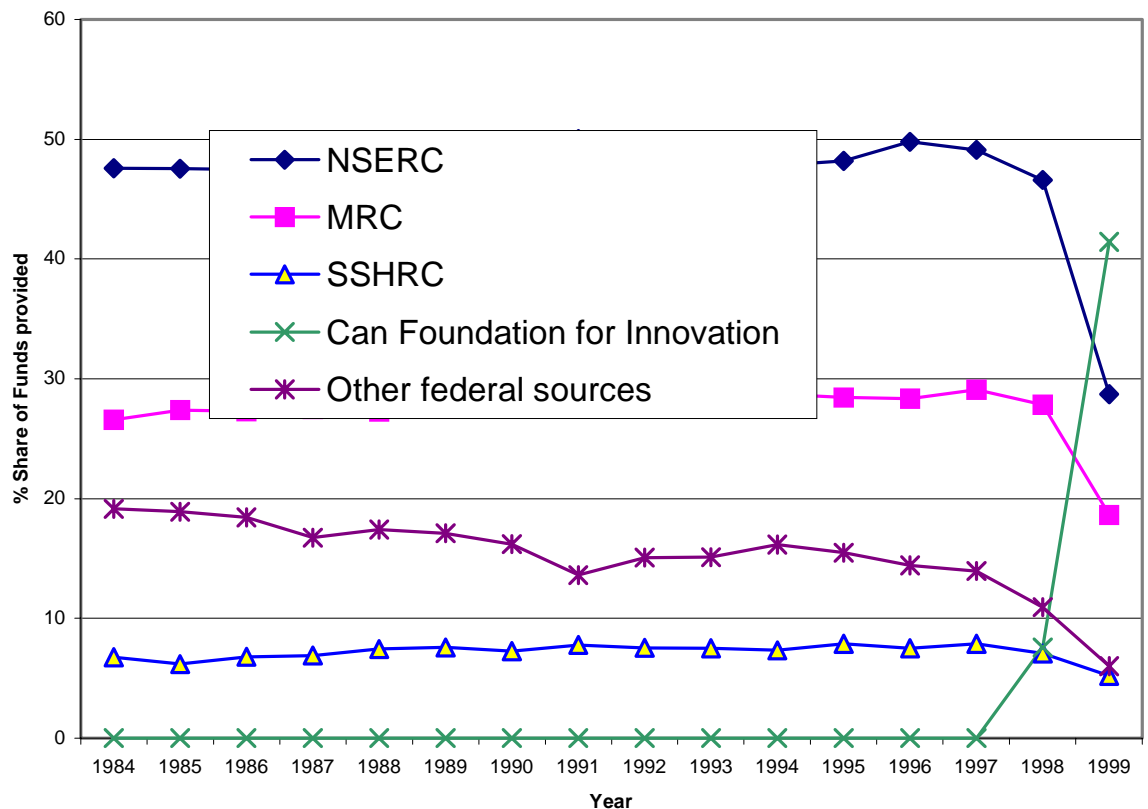


Figura 6: Índice de porcentajes de la Financiación Federal de la I y D universitarios por fuente

Fuente: Statistics Canada, Federal Scientific Activities, varios años

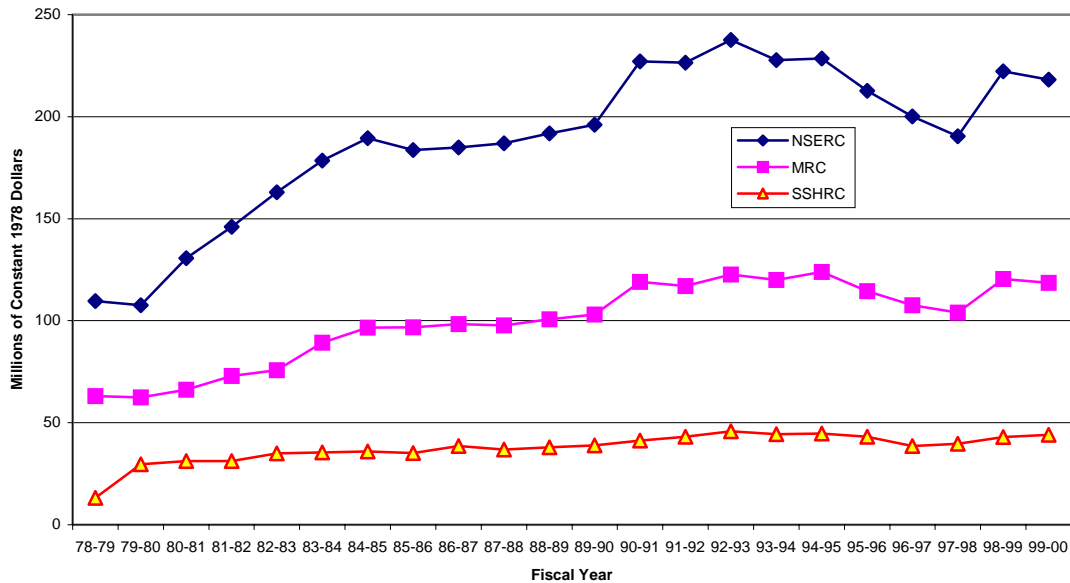


Figura 7: Presupuestos Anuales de Subvenciones (excluyendo la administración) del Canadian Granting Council

Fuente: Gobierno de Canadá, Public Accounts, varios años

El aumento de los presupuestos de los tres consejos de subvenciones para la ayuda a la investigación, expresado en dólares constantes de 1978, se aprecia en la Figura 7. Ha habido un aumento real evidente en todos los campos y una distribución relativa muy coherente entre los tres presupuestos.

Al analizar el gasto en ayuda a la investigación en el NSERC se confirma claramente la hipótesis de cambio de modelos en la ayuda a la investigación. En la Figura 8 se intenta recoger tanto el aumento del gasto como el cambio en las asignaciones internas en dólares constantes de 1978 y normalizando todos los datos de acuerdo con el gasto de 1978 en subvenciones para la investigación.

NSERC Allocation to Research grants vs other forms of funding

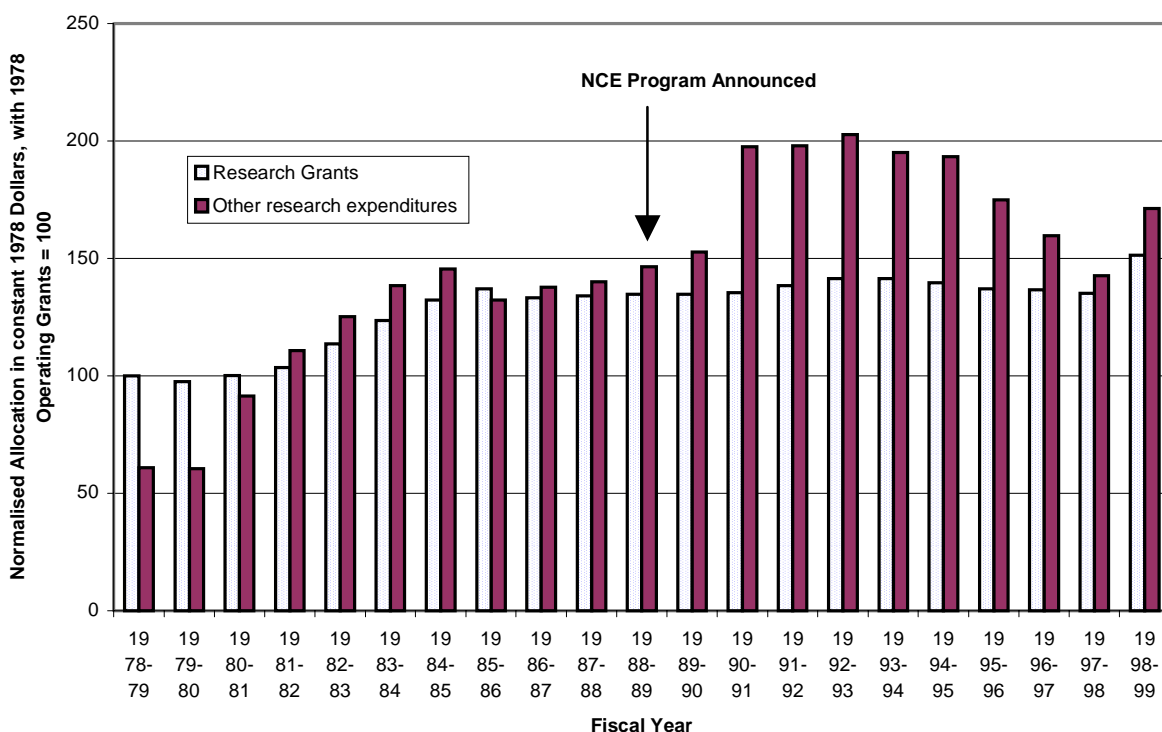


Figura 8: Distribución del Presupuesto de Subvenciones del NSERC entre “subvenciones a la investigación” y otros tipos de subvenciones

Fuente: Calculado a partir de los datos proporcionados por el NSERC, Comunicación privada

Lo que surge es un modelo que muestra que los gastos en ‘otros tipos de subvenciones’ han aumentado en relación con las subvenciones a la investigación per se, y que el cambio relativo fue muy notable con la introducción en 1989 del programa federal de “Redes de Centros de Excelencia” (NCE).

Sin embargo, aunque el modelo principal de ayuda a la investigación no sea ya la subvención personal, ha aumentado el número de personas que han recibido este tipo de ayudas (que pasaron de 5.480 en 1978 a 7.634 en 1998) y el poder adquisitivo de las subvenciones, expresado en dólares constantes de 1978, se ha mantenido (ver Fig. 9). En efecto, se puede afirmar que, a lo largo de los cuatro últimos decenios, el número de investigadores independientes de Canadá que ha podido permanecer en la ‘Republic of Science’ ha ido aumentando lentamente, mientras el sistema nacional general ha evolucionado mucho más rápidamente en la línea de fomentar la innovación tecnológica en la economía y siguiendo el modelo de las ‘nuevas formas de producción’.

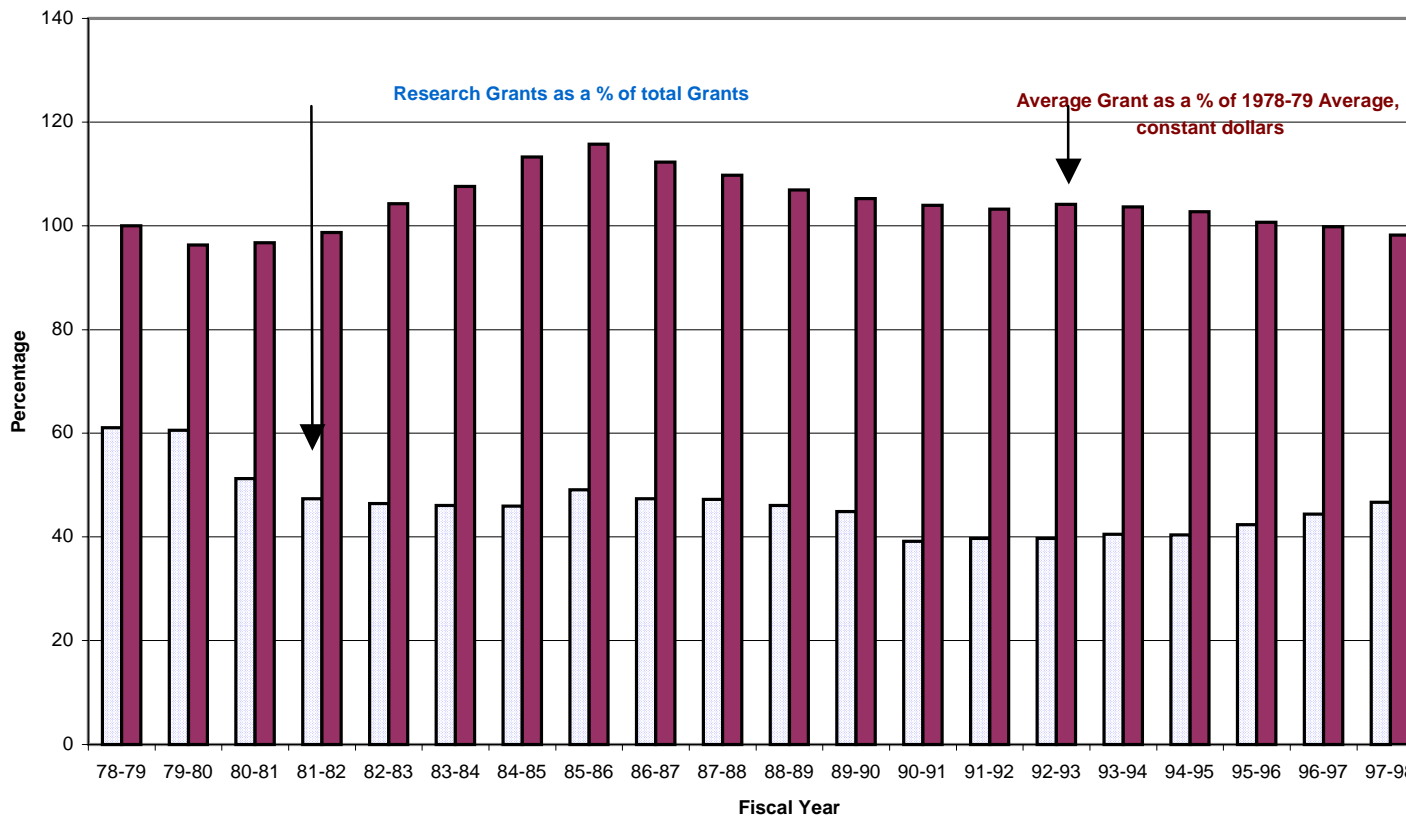


Figura 9: Modelos de subvenciones a la investigación del NSERC

Fuente: Calculado a partir de los datos proporcionados por el NSERC. Comunicación privada

Si todos los datos apuntan a la emergencia de algunas ‘nuevas formas de producción de conocimiento’, ¿cómo son estas nuevas formas, y cómo afecta su emergencia a los académicos que desean dedicarse a la investigación científica más que al desarrollo tecnológico?

Para dar algunas indicaciones de la serie de modalidades empleadas actualmente en el NSERC, veamos la lista de programas que están dentro de la competencia del del NSERC [Comité del NSERC para la Colaboración en la Investigación]:

En junio de 1996, los programas asignados al Committee on Research Partnerships son:

- Proyectos estratégicos
- Redes de Investigación
- Proyectos Universidad-Industria [que abarcan: subvenciones para la cooperación en I y D (CRD), Subvenciones para la Investigación Orientados a la Industria (IOR), Cátedras de Investigación Industrial (IRC) Ayuda a las Nuevas Facultades (NFS) Actividades Cooperativas (CAP) y Gestión de la Propiedad Intelectual (IPM)].
- Redes de Centros de Excelencia
- Programa de Colaboración Tecnológica (TPP).

Según la página web del NSERC (www.nserc.ca) el programa de Redes de Centros de Excelencia (NCE) ‘se centra en forjar estrechos vínculos entre los investigadores universitarios, los que trabajan para el gobierno y los que trabajan para la industria en diferentes disciplinas e instituciones y en agilizar la transferencia de la nueva tecnología al sector privado. El objetivo es elevar el rendimiento científico y tecnológico de Canadá, y posibilitar que el conocimiento llegue a aquellos que puedan emplearlo para hacer avanzar nuestro desarrollo social y económico’. En la práctica, estas Redes subvencionadas han posibilitado la interacción entre los académicos que trabajan en la investigación avanzada y las empresas de alta tecnología, capaces de aprovechar la información recién generada en los programas de desarrollo tecnológico.

El Programa NCE se puede considerar un buen ejemplo de instrumento político empleado por un gobierno para fomentar las interacciones (y, es de esperar, la eficacia en el rendimiento de I y D y en la puesta en práctica de los resultados de esta actividad) dentro de ‘un sistema nacional de innovación’. Sus intentos de crear unas relaciones nuevas y más sofisticadas aparecen también en el enfoque que adoptan muchos países industrializados para elaborar las políticas de innovación en un contexto tan competitivo como el actual. [El diseño del Programa Federal NCE tomó muchas cosas de un programa antiguo de Centros Provinciales de Excelencia que funcionaba en la provincia de Ontario].

El programa NCE ha tratado de fomentar la ‘investigación pre-competitiva’ y responder directamente a la idea de Gibbons y sus colegas de que “se produce siempre más conocimiento en el contexto de sus aplicaciones, y es muy probable que la ayuda a la investigación produzca beneficios directos, económicos y sociales, para la nación que proporciona la ayuda” (Gibbons et al., 1994). Muchos participantes en los programas de subvencionados por el NCE explican que su investigación está en las fronteras del conocimiento. Lo que hace la administración de cada proyecto NCE es decidir qué fronteras de conocimiento parece que van a contribuir más en el futuro al desarrollo tecnológico en algunas áreas determinadas de posible importancia económica o social.

En el Cuadro 1 se ve el gasto del NSERC en los últimos años en los programas NCE. En el primer año del programa, 1989-90, se asignaron pequeñas cantidades de financiación preparatoria. La tercera fase de financiación del programa fue la de pleno auge en 1998-99.

Cuadro I: Gasto del NSERC en redes de centros de excelencia (en millones de dólares canadienses actuales)

Red	1989-90	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99
Red canadiense de enfermedades bacterianas	0.05	2.23	2.32	2.38	2.12	2.39	2.16	1.71	1.59	1.90
Instituto canadiense para la investigación de telecomunicaciones	0.10	2.63	3.49	3.78	3.76	4.80	3.49	2.76	2.57	
Red canadiense para la investigación espacial	0.10	5.88	3.81	3.43	3.03	0.75				
Centros de excelencia de dinámica molecular e interfacial	0.10	4.25	3.75	4.58	3.71	2.12				
Biotecnología de insectos de Canadá:	0.10	2.06	2.03	2.20	2.21	0.92				

Instituto de Robótica y sistemas inteligentes	0.10	6.81	5.95	5.58	5.38	6.25	5.65	4.46	4.17	4.60
Red de maquinaria de pasta de madera	0.10	3.51	3.15	3.38	3.35	4.94	3.47	2.74	2.56	2.00
Red de centros de excelencia de hormigón de alto rendimiento	0.10	2.17	1.26	1.28	1.27	2.00	1.52	1.20	1.12	
Red de mejora de la producción oceánica	0.10	6.31	6.56	6.16	3.45	1.28				
Red de centros de excelencia de ingeniería de las proteínas	0.05	4.01	1.82	1.80	1.85	3.10	2.38	1.88	1.75	2.95
Red de investigación del tele-aprendizaje							1.07	1.83	1.83	1.83
Gestión forestal sostenible							0.88	1.51	1.51	1.51
Sensores inteligentes en estructuras innovadoras							1.55	2.65	2.65	2.65
MICRONET: aparatos de microelectrónica, circuitos y sistemas para integración a gran escala	0.10	2.60	2.70	2.70	2.70	2.84	2.57	2.03	1.89	2.30
Geomática para la adopción informada de decisiones (GEOID)										1.97
Matemática de la información, tecnología y sistemas complejos										2.39
TOTAL	1.00	42.48	36.84	37.26	32.82	31.38	24.73	22.75	21.91	27.30

Fuente: Natural Sciences and Engineering Research Council, Ottawa, Comunicación privada

Las subvenciones para la Redes pertenecientes a este programa son para un trabajo de cuatro o cinco años y pueden ascender a 20 millones de dólares canadienses o más si se prolonga la subvención. Continuar la financiación después de la primera subvención es posible pero no automático.

El Programa NCE y dentro de él la red IRIS, (el Institute for Robotics and Intelligent Systems [Instituto de Robótica y Sistemas Inteligentes]) pueden ser un ejemplo de cómo se ponen en práctica las premisas de Gibbons *et al.*

La primera premisa era :

- se produce siempre más conocimiento en el contexto de sus aplicaciones, y es muy probable que la ayuda a la investigación produzca beneficios directos, económicos y sociales, para la nación que proporciona la ayuda;

Este punto se refleja en las áreas de temas seleccionados (ver cuadro anterior) y en la necesidad de participación industrial significativa para obtener los resultados de la investigación y transformar ese conocimiento en innovaciones tecnológicas.

Las premisas segunda y tercera de las “nuevas formas de producción del conocimiento” son:

- existe una tendencia ineludible hacia la formación de equipos más grandes e interdisciplinarios que trabajan en actividades de investigación también más interdisciplinarias;

- existe una diversidad creciente de organizaciones que participan actualmente en los equipos de investigación (las fronteras institucionales se difuminan) y éstos son cada vez más efímeros, desapareciendo al terminar el proyecto o programa encomendado;

Consideremos el programa IRIS en el que

- La primera fase (1990-94) financiaba 24 proyectos de investigación, con más de 130 investigadores de 18 universidades en tres áreas de encuesta: comprensión informática, sistemas basados en el conocimiento, y robótica inteligente. Además de los 23,8 millones de dólares canadienses de ayuda del NCE, la fase primera recibió 1 millón de dólares canadienses de fondos de la industria.
- La segunda fase (1995-98) abarcaba 29 proyectos de investigación con 138 investigadores de 21 universidades, en cinco temas de investigación: informática inteligente, interfaces hombre-máquina, máquinas sensibles, aparatos médicos avanzados y sistemas integrados en entornos dinámicos. El programa para el cuarto año recibió 20,5 millones de dólares canadienses en ayuda del NCE y otros 6,3 millones en aportaciones de las empresas de Canadá.
- La fase tercera (1998-2002) reúne a más de 90 investigadores de 21 universidades canadienses en un programa de 29.4 millones de dólares canadienses con una aportación de las empresas canadienses de 11,9 millones además de los 17,5 millones de la subvención del programa NCE.

Todas las áreas en las que IRIS ha patrocinado investigación (comprensión informática, sistemas basados en el conocimiento, robótica inteligente, interfaces hombre-máquina, máquinas sensibles, aparatos médicos avanzados y sistemas integrados en entornos dinámicos) son transdisciplinarios y en casi todos los proyectos los miembros de los equipos procedían de disciplinas e instituciones muy variadas.

El IRIS está estrechamente ligado al consorcio industrial PRECARN (www.precarn.ca) cuyos cuarenta miembros proceden de compañías de alta tecnología, de los principales usuarios industriales de los sistemas de robótica, de una importante red académica (el Canadian Institute for Advanced Research [Instituto Canadiense para la Investigación Avanzada]) y de organismos de investigación gubernamentales. PRECARN se encarga de la gestión administrativa de IRIS y es miembro de sus comités de programa.

PRECARN ha apoyado unos 29 proyectos, además de las actividades del IRIS, cada uno de los cuales cuenta con participantes sacados de entre sus miembros usuarios de robótica industrial y alta tecnología y uno o más grupos universitarios procedentes del IRIS. En el Presupuesto Federal de Canadá para el año 2000 se preveía una contribución de 20 millones de dólares canadienses a PRECARN.

Godin, Gingras y Davignon (1998), y más tarde Godin y Gingras (1999a) han aportado más cantidad de información general sobre las tendencias hacia una mayor colaboración entre investigadores de diferentes sectores en un estudio que afirmaba que “las universidades han logrado permanecer en el centro del sistema de producción del conocimiento gracias al uso de mecanismos de colaboración”. En su estudio se pone de manifiesto, por ejemplo, que en todos

los artículos canadienses de la literatura internacional sobre ciencias e ingeniería, al menos un autor procedía de una universidad y el grado de colaboración intersectorial había evolucionado con los años como se aprecia en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Porcentaje de artículos canadienses en los que se aprecia la colaboración de las universidades con otros sectores

	1980	1985	1990	1995
Hospital	8.3	9.3	9.4	10.3
Gobierno	4.2	5.1	6.8	7.4
Industria	1.1	1.5	2.1	2.4

Fuente: Godin y Gingras (1999A)

En el ámbito de las ciencias sociales, las tendencias de la ayuda a la investigación son muy similares a las que acabamos de ver para las ciencias naturales y la ingeniería, si bien muchas de las iniciativas de colaboración se llevan a cabo con inversiones mucho menores. El único NCE dedicado totalmente al estudio social, la Red Canadiense de Investigación Agin, se creó formando parte del primer concurso NCE pero la red se disolvió y no solicitó la segunda fase de financiación. En vez de esto ha habido una firme tendencia a proyectos más amplios, financiados por las “Major Collaborative Research Initiatives” del SSHRC [Iniciativas Principales de Colaboración en la Investigación]. A modo de ejemplo, los resultados del concurso 1997-98 dieron lugar a las siguientes decisiones:

Cuadro 3: Principales iniciativas de colaboración del SSHRC para 1997-98

	Propuestas Aceptadas	Investigadores	Dólares canad.
Comunicaciones	1	29	1,821,050
Medio ambiente	1	18	1,665,000
Desarrollo y bienestar social	1	19	1,259,729
Otros	1	23	1,887,000
Total - 1997-98	4	89	6,632,779

Fuente: Social Sciences and Humanities Research Council, Ottawa, Comunicación privada (SSHRC)

A escala internacional, el SSHRC apoya a cuatro grupos canadienses que son participantes activos en el “Proyecto Internacional Metrópolis”, que se describe como una serie de actividades coordinadas llevadas a cabo por un grupo de investigación y unas organizaciones políticas que comparten puntos de vista sobre una política de inmigración fuerte, a través de la investigación académica aplicada. La asociación Metrópolis, en la que colaboran ahora veinte países y muchas organizaciones internacionales políticas y de investigación, representa una amplia serie de intereses políticos y académicos. Ofrece una política más efectiva, una prácticas de investigación

con mayor repercusión social y el aliciente de la colaboración internacional. Los proyectos de este tipo cumplen las cuatro premisas de Gibbon.

Desgraciadamente, la investigación que se ha realizado sobre las publicaciones de ciencias sociales ha sido mucho menos bibliométrica que la que se ha hecho para las ciencias naturales e ingeniería; por ejemplo, algo menos de 10% de los artículos que aparecieron en los últimos tres años en una importante revista especializada en estudios bibliométricos (*Scientometrics*) trataba del análisis de modelos de publicación en ciencias sociales. Por lo tanto disponemos de muchos menos análisis cuantitativos del grado de colaboración de diversos tipos existente en el ámbito de las ciencias sociales.

De este estudio de la ayuda a la investigación científica en Canadá durante los últimos cuarenta años surge un modelo de cuatro niveles de actividades científicas y tecnológicas en el país en el cual:

- en torno a 60% del gasto total en ciencia y tecnología se dedica al apoyo de I y D y el 40% restante, al mantenimiento de una infraestructura tecnológica necesaria para el funcionamiento de una economía moderna;
- la actividad dominante en I y D es el desarrollo tecnológico llevado a cabo básicamente con empresas industriales del sector privado;
- la inversión nacional en investigación científica sigue dos cauces:
- primero, una inversión en ‘ciencia básica’ nacional, que aumenta lentamente y se realiza principalmente en las universidades siguiendo los patrones de la Republic of Science en cuanto a la asignación de recursos; y
- segundo, y también principalmente en las universidades, unas inversiones, que aumentan más rápidamente, en las ‘nuevas formas de producción de conocimiento’ con toda una serie compleja de modalidades de ayuda financiera.

En la agenda de la política científica de Canadá sigue habiendo un gran interés por preservar al máximo la vitalidad de la ciencia académica obteniendo a la vez beneficios económicos o sociales de sus resultados (ver, por ejemplo, Advisory Council on Science and Technology [Consejo Asesor en Ciencia y Tecnología], 1999) y parece que la búsqueda de nuevas modalidades seguirá siendo una característica de su política.

Un caso curioso de esta búsqueda lo constituye la reforma del Medical Research Council [Consejo de Investigación Médica de Canadá] que el 1 de abril de 2000 pasó a ser el Canadian Institute of Health Research [Instituto Canadiense de Investigación Sanitaria] (CIHR), un buen ejemplo de experimentación institucional destinado a reunir las diversas formas interdisciplinarias de producción de conocimiento en el ámbito de la atención sanitaria y la investigación médica abarcando las ciencias médicas, biológicas y sociales en las cuestiones más importantes. Según un documento básico de trabajo, distribuido por el comité ejecutivo interino del CIHR,

“Los institutos creados bajo los auspicios del CIHR no serán instrumentos centralizados y prefabricados, sino que serán eficaces apoyando y poniendo a los investigadores, que pueden estar en universidades, hospitales u otros centros de investigación, en relación con sus colegas de otras instituciones, de otras partes del país, y de otras disciplinas. Aportarán núcleos temáticos para la

investigación de la salud a escala mundial en diferentes áreas de investigación (por ejemplo, las enfermedades crónicas o el envejecimiento). Los institutos reunirán también a investigadores con objetivos similares y fomentarán la sincronización de la investigación con cuestiones decisivas de salud, de manera que involucren a relevantes investigadores y colaboradores. Con el tiempo, se creará una red de unos 10 ó 15 institutos que reunirán a los mejores investigadores del país para solventar los retos sanitarios más arduos y prioridades de los canadienses”.

En sentido literal, los institutos que participen en el CIHR serán ‘colaboratorios’ del tipo descrito en la cita del trabajo de la OCDE en esta área (OCDE 1998).

Llegando a este punto, cabe preguntarse en qué medida los modelos de financiación de la investigación que se han seguido en Canadá pueden existir en otras partes del mundo y en especial en los países en desarrollo. A continuación, veremos algunos datos relativos a Chile y a Sudáfrica.

El caso de Chile

A modo de fundamentos, en la Figura 10 se ve el aumento del índice de gasto total de Chile en I y D (GERD) en relación con el PIB durante casi veinte años. (Chile es un caso excepcional, entre los países en desarrollo, en lo referente a la abundancia de datos sobre las actividades de C y T durante un largo período de tiempo. El departamento de Información de CONICYT merece ser elogiado por la calidad de su trabajo).

Chile's GERD to GDP Ratio

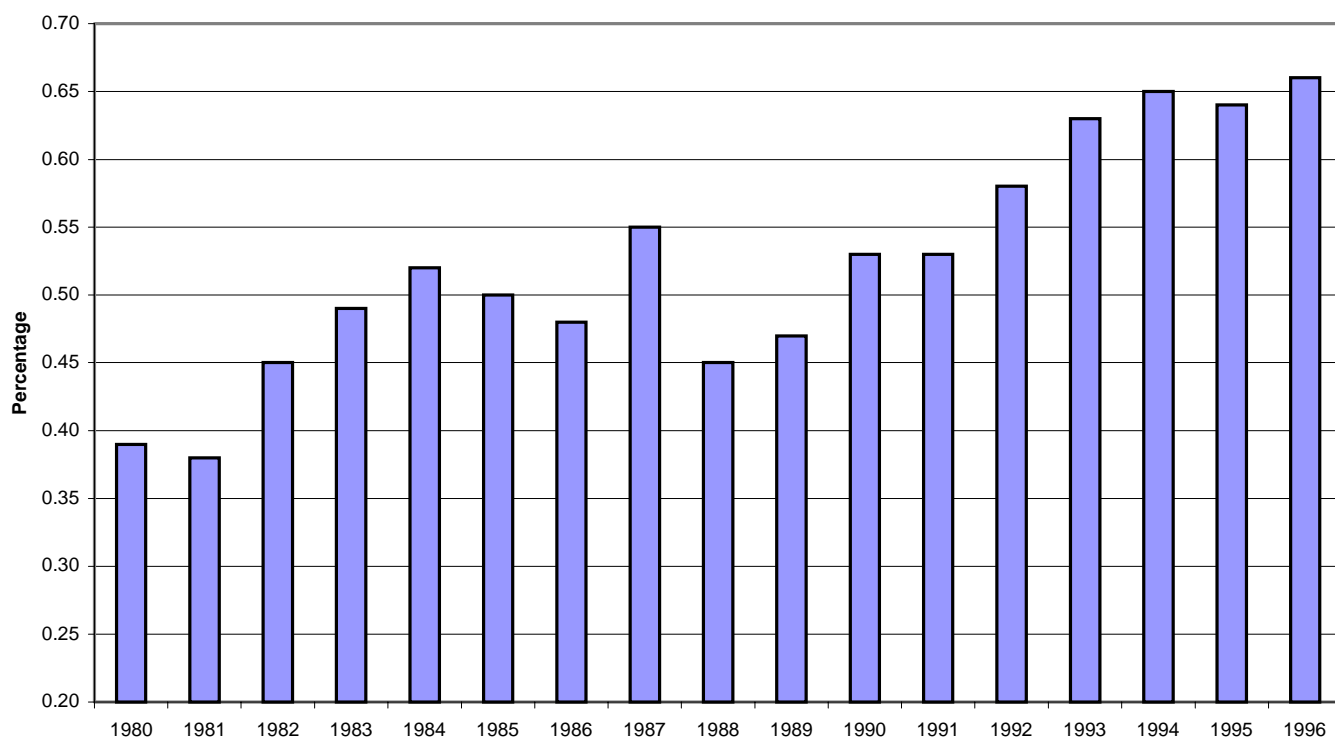


Figura 10: Relación del GERD con el PIB en Chile

Fuente: Departamento de Información, CONICYT, Chile

El modelo que surge es el de una asignación creciente de recursos a I y D a más largo plazo, pero el progreso se ha visto afectado por las condiciones económicas externas. El modelo de gasto por parte de las diferentes fuentes de financiación, que aparece en la Fig. 11, es radicalmente distinto del que veíamos en Canadá. En el caso de Chile, el sector privado sólo entra en escena a mitad del decenio de 1980, y a finales del de 1990 representa solamente 3% del gasto nacional. Las dos fuentes principales de gasto, el Estado y las Universidades, dominan, con sus respectivos índices fluctuando en una franja que va de “50% más a 10% menos” desde 1969.

Muy poco de lo que se ha hecho en los institutos tecnológicos públicos estatales se podría clasificar como ‘investigación científica básica’; esta actividad se encuentra casi exclusivamente en las universidades antiguas.

Share of Funding of Chile's GERD

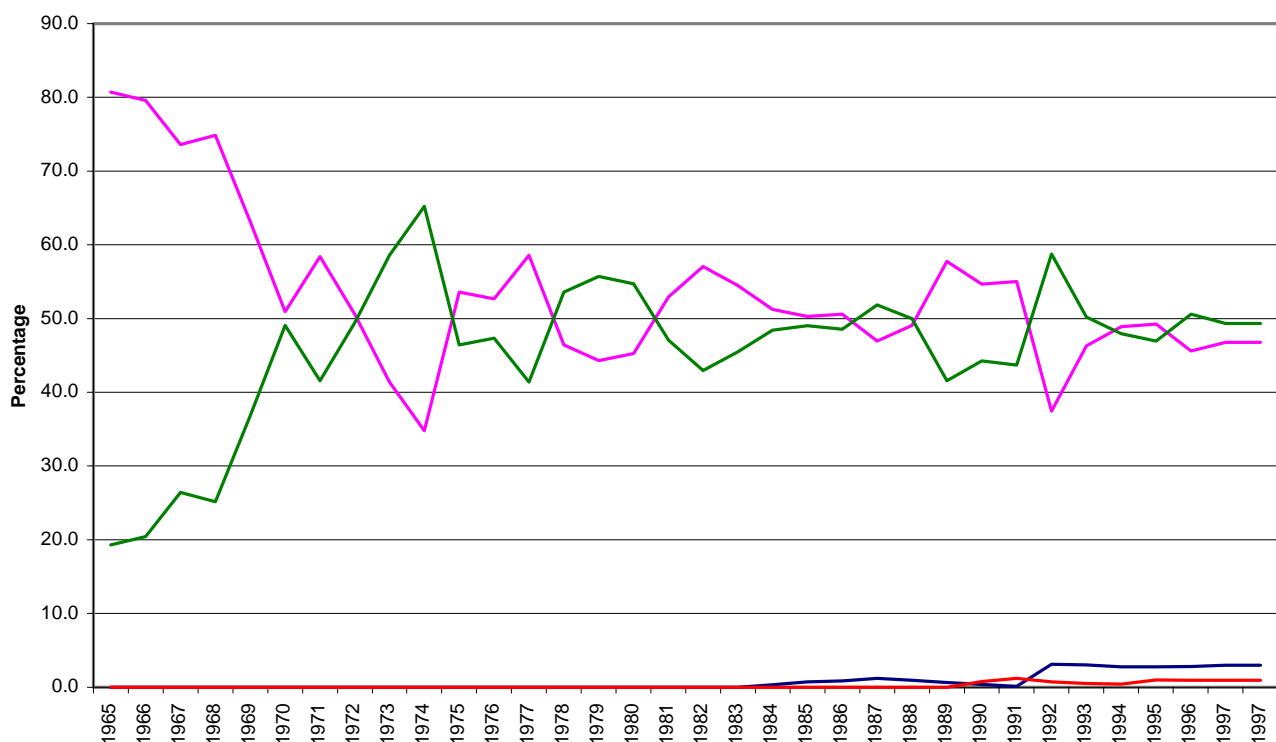


Figura 11: La distribución, por fuente de financiación, del Gasto Bruto de Chile en I y D de 1965 a 1997

Fuente: Departamento de Información, CONICYT, Chile

Según un estudio reciente realizado por un equipo internacional (Mullin et al. 1999), la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile, CONICYT, se creó por decreto en 1968 y viene desempeñando desde entonces una función importante en la financiación de la investigación científica y el desarrollo tecnológico del país. Se trata de una organización considerada profesional, comprometida y transparente que ha tenido un papel muy importante en la mejora de la calidad de la investigación chilena. Es especialmente valorado el establecimiento, en 1981, de un procedimiento de adopción de decisiones y sistema de financiación de acuerdo con unas normas.”

El gobierno de Chile ha ido creando en este tiempo una serie de fondos para concursos con miras a fomentar tanto la investigación científica como el desarrollo tecnológico y su difusión. Uno de ellos, el FONDECYT, creado en 1982 con la CONICYT, está plenamente dedicado al sistema de la ‘Republic of Science’ y es quizá el único instrumento de financiación gubernamental que existe en el mundo que decide totalmente por sí mismo su órgano directivo. Los otros fondos, de los cuales la mayoría están administrados por el Ministerio de Economía, están dirigidos o al sector privado (FONTEC) o a áreas con problemas específicos (FIA en agricultura, FIP en pesca,

FIM en temas medioambientales relacionados con la industria de la minería). Otros dos (el FDI y el FONDEF) ofrecen actualmente oportunidades para la colaboración entre empresas, institutos tecnológicos públicos y universidades.

El Fondo para la Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDEF fue creado en 1991 por iniciativa directa del Gobierno de Chile en estrecha colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). En 1992, su administración fue encomendada a la CONICYT; su misión es fomentar y contribuir a mejorar la capacidad de innovación científica y tecnológica de la investigación nacional e instituciones de desarrollo, financiando proyectos de gran calidad, significación e impacto con miras a mejorar la productividad y competencia de los principales sectores de la economía. Los objetivos que guían sus actuaciones son tres:

- Aumentar la calidad y cantidad de I y D y la provisión de servicios científicos con el consiguiente impacto en la actividad productiva.
- Posibilitar la transmisión de conocimiento y saber al sector productivo por medio de actividades de colaboración entre los actores de I y D y el mundo de los negocios.
- Aumentar la concentración de actividades de I y D en áreas de alta prioridad que reportan beneficios sociales y contribuyen a los intereses nacionales.

El FONDEF se ha ido convirtiendo en una fuente importante de financiación de actividades universitarias planeadas en colaboración con el sector privado. En efecto, el FONDEF es una modalidad destinada a estimular las actividades que responden a los tres primeros criterios establecidos por Gibbon (Gibbons et al., 1994).

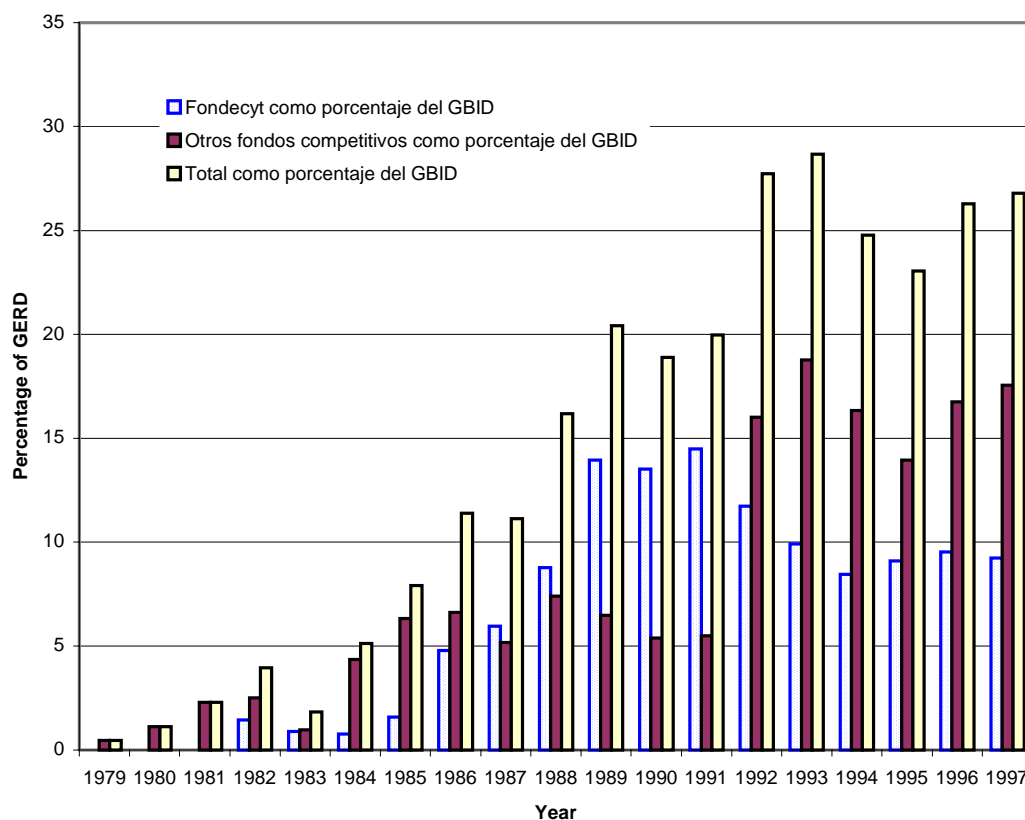


Figura 12: Inversión de Chile en ‘fondos competitivos’ en relación con su GERD.

Fuente: Departamento de Información, CONICYT, Chile

En la Figura 12 se ven varios elementos en juego a lo largo de los años:

1. El compromiso a largo plazo de emplear de manera creciente las modalidades de concurso para la financiación de C y T de manera que a finales del decenio de 1990, más de una cuarta parte de todos los fondos empleados en I y D en el país se suministraban por estos procedimientos;
2. Un período en el que se daba una prioridad considerable a la ciencia básica del país, via inversiones en el FONDECYT. El nivel de prioridad otorgado a FONDECYT cambió en el año 1993; y
3. A partir de 1993 junto a un crédito para C y T del Banco Interamericano de Desarrollo, la entrada en escena del FONDEF y el comienzo de un compromiso con las ‘nuevas formas de producción del conocimiento’.

El compromiso de al menos 10% del GERD de Chile para FONDECYT sigue representando un nivel elevado de apoyo a la ‘Republic of Science’. En Canadá, los tres consejos de subvenciones destinaban aproximadamente 5,1% del GERD en 1999. (En Mullin et al. 1999, se puede encontrar una evaluación detallada del rendimiento de FONDECYT y FONDEF).

En 1997, dentro de FONDECYT, se introdujo un mecanismo nuevo (llamado FONDAP) destinado a promover proyectos de ciencia básica a gran escala en áreas especialmente designadas de alta prioridad para los cuales la colaboración entre universidades iba a ser un elemento esencial. Desgraciadamente, la introducción de la iniciativa FONDAP se malogró por la controversia sobre la selección de las dos primeras subvenciones hasta tal punto que apenas hubo debate en la comunidad de investigación básica de Chile sobre las posibilidades de la modalidad a largo plazo (ver Mullin et al., 1999).

Cuadro 4 – Publicaciones de los investigadores chilenos en la literatura internacional

Año	Publicac. incl. en ISI	Publicaciones/ 100,000 habitantes	Nº de Investigadores	Publicaciones por investigador
1981	675	5.96	3,420	0.20
1982	655	5.75	3,547	0.18
1983	827	6.97	3,727	0.22
1984	707	5.86	3,886	0.18
1985	768	6.25	4,079	0.19
1986	865	6.95	4,251	0.20
1987	857	6.78	4,588	0.18
1988	934	7.18	4,803	0.19
1989	991	7.49	5,115	0.19
1990	1,112	8.37	5,421	0.20
1991	1,157	8.45	5,628	0.20
1992	1,244	8.90	5,860	0.21
1993	1,275	9.11	6,028	0.21
1994	1,255	8.78	6,223	0.20
1995	1,403	9.70	6,388	0.22
1996	1,489		6,619	0.23

Fuente: Mullin et al, 1999, basado en datos de la CONICYT

El índice de publicación de los investigadores chilenos es, dentro de los países latinoamericanos, muy positivo. (Ver Cuadro 4), pero, como cabía esperar, la disminución de recursos para los investigadores chilenos ha hecho que la productividad por científico sea significativamente más baja que en el mundo industrializado.

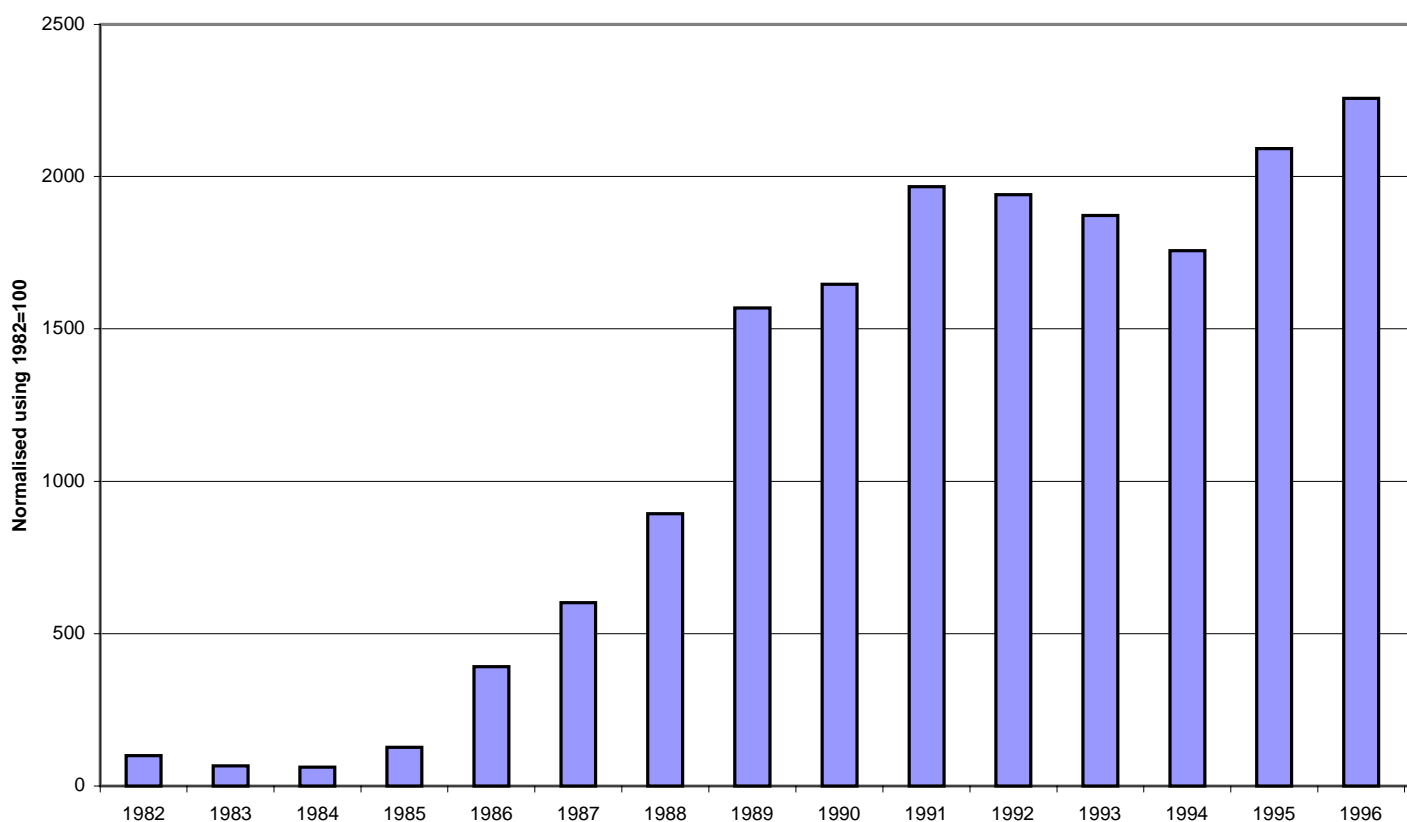


Figura 13: Promedio estimado per capita de créditos para la investigación FONDECYT en porcentaje de créditos de 1982, en pesos constantes

Fuente: cálculo realizado a partir de la información suministrada por el Departamento de Información, CONICYT, Chile

(Como FONDECYT da subvenciones de tres años, para preparar la Figura 13, se calculó el volumen de la financiación concedida a las subvenciones de cada año dando por hecho que las subvenciones se asignarían en tres partes iguales. Esta hipótesis era necesaria a falta de datos por separado y sólo puede dar un indicador general de las tendencias más verosímiles).

El caso de Sudáfrica

La República de Sudáfrica experimentó una transformación política radical a mitad del decenio de 1990, con el fin del Apartheid (y todas las sanciones debidas a éste) y la aprobación de una nueva Constitución democrática en 1994.

En los primeros años del nuevo gobierno hubo amplias revisiones en todas las áreas de la actividad pública. En el área de la Ciencia y la Tecnología, este proceso de inspección dio origen a un “Libro Verde” consultivo en 1995, a un “Libro Blanco” en el que se basaba la Política Gubernamental en 1996 y a una revisión de todas las participaciones institucionales significativas del gobierno en ciencia, tecnología e ingeniería en 1998. (Todos los documentos relacionados

están disponibles en http://www.dacst.gov.za/science_technology/index.htm) En el capítulo 7 del Libro Blanco, el gobierno se comprometía a crear un “*sistema coordinado* [énfasis en el original] de financiación por medio de subvenciones a la investigación en instituciones de educación superior” y creó una Fundación Nacional de Investigación encomendándole la responsabilidad de esa actividad. También se creó un “Fondo para la Innovación” con tres objetivos principales que eran:

- posibilitar una reasignación de recursos partiendo de los modelos históricos de la ciencia pública hacia las cuestiones clave de competitividad, calidad de vida, sostenibilidad medioambiental y aprovechamiento de la tecnología de la información;
- aumentar la posibilidad de obtener fondos para las actividades de instituciones públicas de Science, Technology and Engineering Institutions (SETIs) [Instituciones de Ciencia, Tecnología e Ingeniería] por medio de procesos competitivos y
- fomentar las redes y la colaboración intersectorial en el sistema nacional de innovación de Sudáfrica.

La modalidad de financiación introducida por la creación del Innovation Fund [Fondo para la Innovación] refleja claramente la teoría de las ‘nuevas formas de producción de conocimiento’

Como se verá más adelante, estos cambios tendrían lugar en un país en desarrollo con una infraestructura de investigación relativamente considerable tanto en lo referente a inversiones en I y D como en infraestructura física e institucional.

South Africa's GERD as % GDP

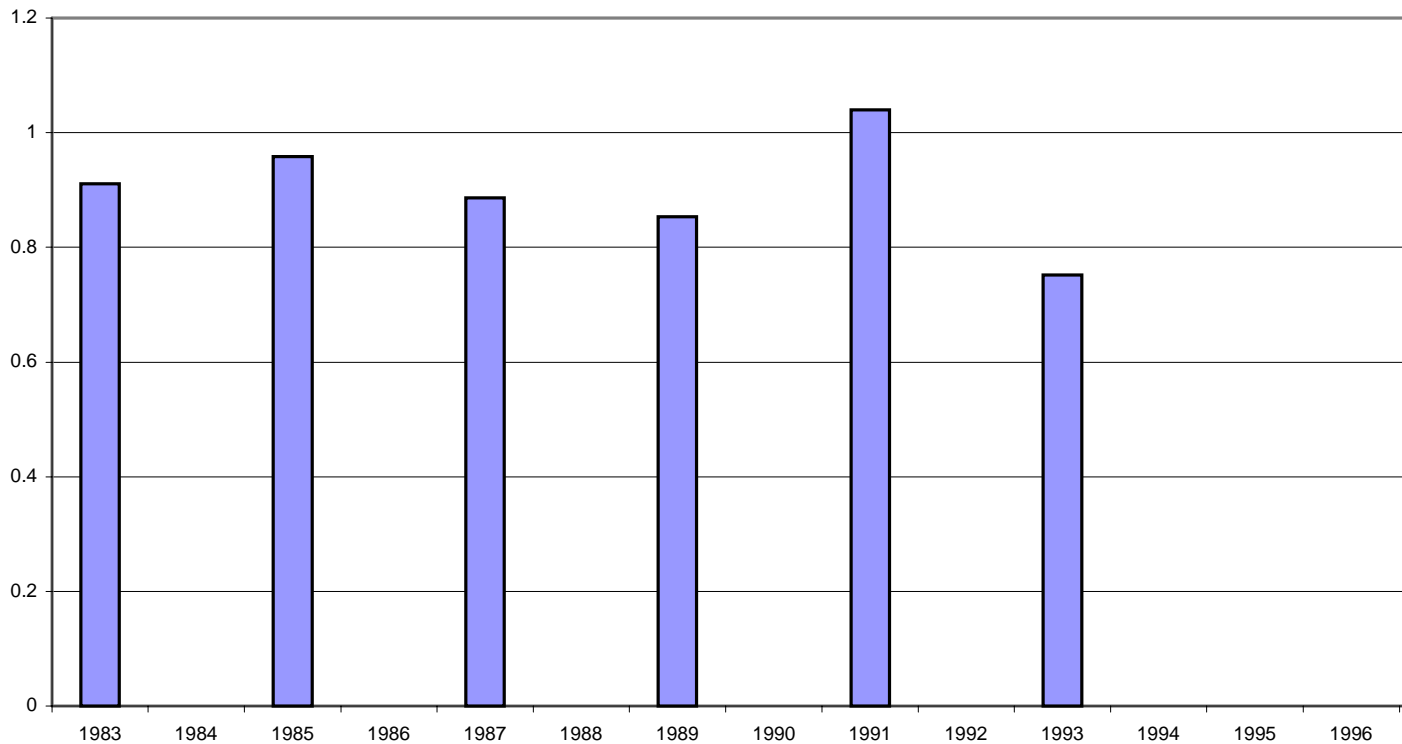


Figura 14: Relación del GERD con el PIB en Sudáfrica

Fuente: Comunicación privada Mr William Blankley., Administrador: Science and Technology Policy Unit, National Research Foundation, Pretoria

La primera impresión al ver la Figura 14 es la de una gran estabilidad en la inversión en I y D durante mucho tiempo. Sin embargo, es importante señalar, según fuentes sudafricanas, que la metodología empleada en el estudio para estimar el GERD experimentó cambios significativos al menos en dos ocasiones. El estudio de 1991 fue inusualmente amplio y exhaustivo mientras que, según los funcionarios, “las cifras de gasto menor en 1993 y 1997, probablemente se deben a una infravaloración de la I y D en la educación superior y a la metodología de muestreo en otros sectores, más que a un descenso real de I y D”. En el período estudiado, podría ser justa la conclusión de que el GERD de Sudáfrica se mantenía en la franja de 0,8 a 1,0% del PIB, que está dentro de lo normal en otros muchos países en desarrollo.

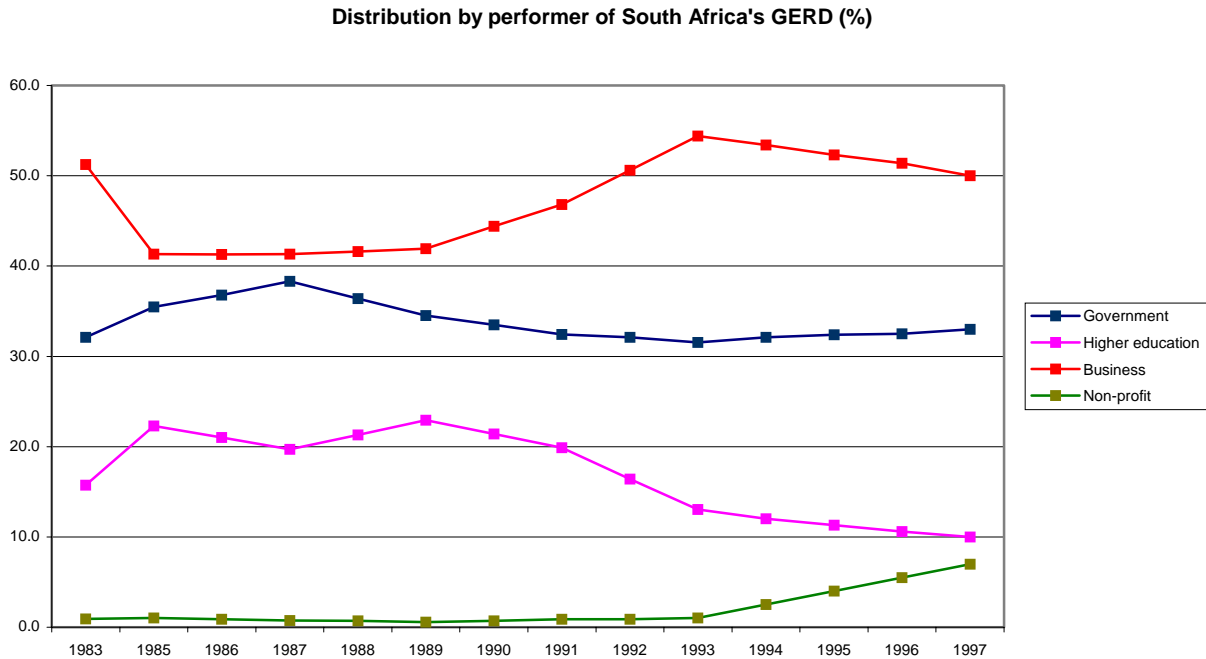


Figura 15: Distribución por actor del Gasto Bruto de Sudáfrica en I y D, de 1983 a 1997

Fuente: Comunicación privada, Mr William Blankley., Administrador: Science and Technology Policy Unit, National Research Foundation, Pretoria

El modelo de rendimiento de I y D en Sudáfrica (Figura 15) es muy poco usual en un país en desarrollo en el que el sector privado tiene tanto peso. Esto se debe en gran medida a la función que las empresas privadas desempeñan en la realización de I y D en temas de defensa por contratos con el gobierno en apoyo de la avanzada industria de armamento del país.

Los efectos de la política gubernamental en el empleo en general de los fondos con un objetivo y del Innovation Fund (creado a resultas del Libro Blanco de 1996) en particular se ven claramente en la Figura 16.

South African Support for Competitive Funds

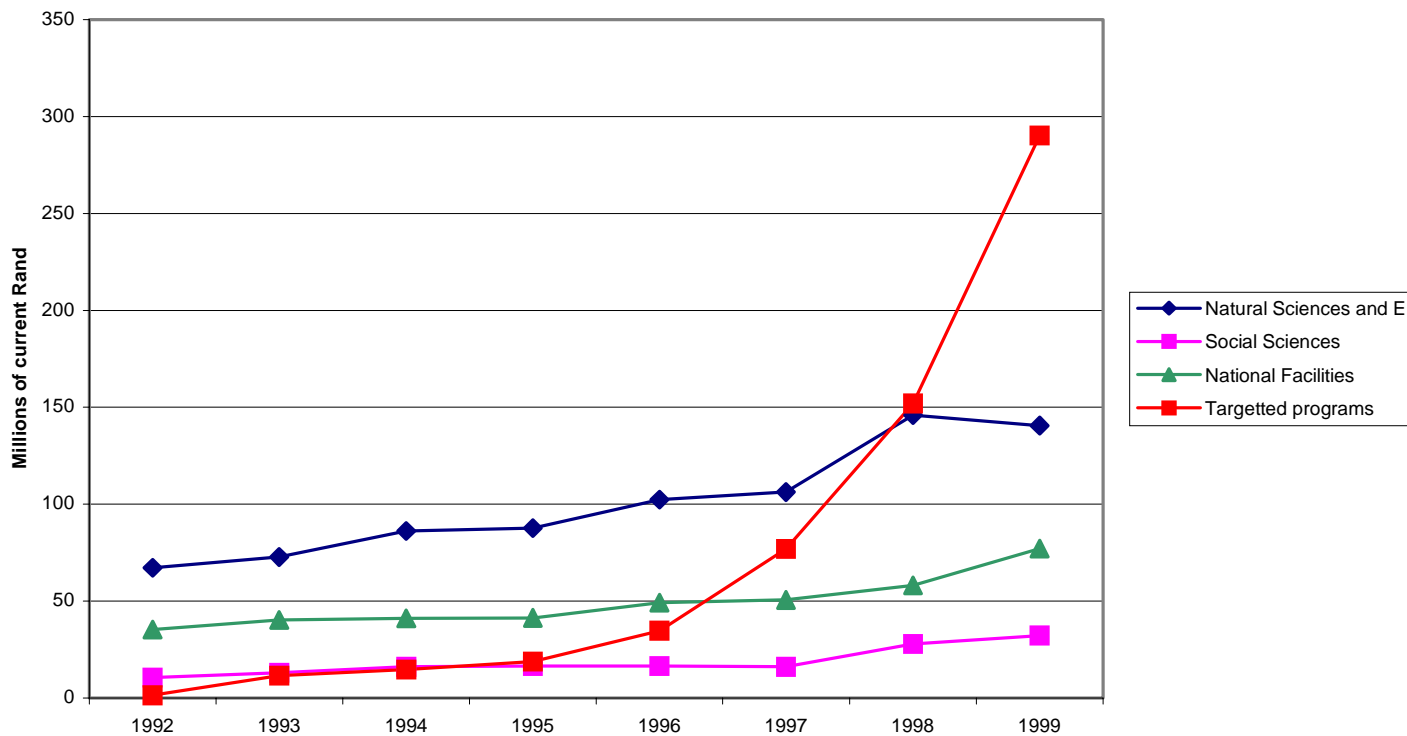


Figura 16: Ayuda competitiva en Sudáfrica para la investigación

Fuente: Comunicación privada, Mr William Blankley., Administrador: Science and Technology Policy Unit, National Research Foundation, Pretoria

Otro rasgo inusual de este modelo de financiación, habida cuenta de que Sudáfrica es un país en desarrollo de tamaño mediano, es su ayuda a una serie de “medios nacionales” para la investigación básica (medios de “Gran Ciencia” que necesita una infraestructura sofisticada que haga posible que los científicos de la ‘Republic of Science’ prosigan sus estudios. Estos medios son el Centro Acelerador Nacional, el Observatorio de Radio Astronomía Hartbeesthoek, el SA Astronomical Observatory, el JLB Smith Institute of Ichthyology y el Southern African Telescope.

Una gran parte de la financiación del Innovation Fund procedía de la reasignación de recursos que antes se habían asignado a los Créditos Parlamentarios a las instituciones públicas de ciencia, tecnología e ingeniería. También está funcionando otro ‘programa especialmente dirigido a un objetivo’ amplio y que va en aumento, que se incluye en estos datos (el National Research Foundation’s “Technology and Human Resources for Industry Program (THRIP), que empezó modestamente en 1992, se convirtió rápidamente en el programa especialmente dirigido a un objetivo, más amplio en respuesta a su popularidad y sólo fue superado en volumen de recursos disponibles por el Innovation Fund en el presupuesto para FY2000.

En la Figura 17 mostramos que la NRF y su predecesora en las ciencias naturales y en la ingeniería, la Foundation for Research Development (FRD) [Fundación para el Desarrollo de la Investigación] ha llevado a cabo iniciativas para mantener el poder adquisitivo de sus subvenciones por medios parecidos a los otros países estudiados en este artículo.

Fig 17: Subvenciones normalizadas, per cápita, en rands constantes, otorgadas por la NRF y la fundación que la precedió, la FRD

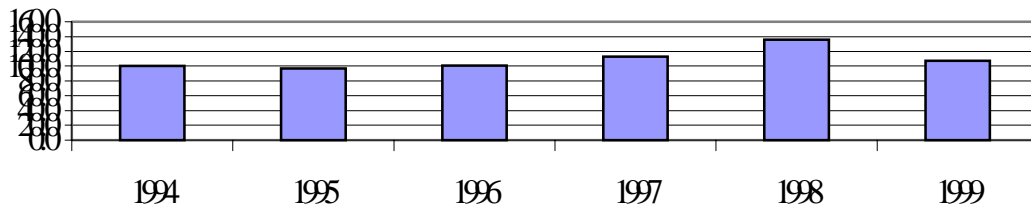


Figura 17: subvenciones per capita normalizadas en rands constantes de la NRF y su predecesor a la FRD

Fuente: Calculado a partir de los datos suministrados por Mr William Blankley, Administrador: Science and Technology Policy Unit, National Research Foundation, Pretoria

Modelos de colaboración científica internacional

El cuarto criterio postulado por Gibbon era “existe una tendencia permanente a intensificar las relaciones internacionales entre los equipos de investigación.” Si se estudian los modelos de publicación en la literatura internacional, se confirma esta opinión.

En la Figura 17 se ve que, en el período comprendido entre 1980 y 1995, el índice de artículos sobre ciencias puras e ingeniería publicados por autores canadienses (y citados en el *Science Citation Index*) que implicaban colaboraciones internacionales había aumentado de forma continua pasando de 15,3% en 1980 a 30,7 en 1995, mientras que ese mismo índice, aplicado a todo el mundo, había pasado de 5,2% en 1980 a 14,5% en 1995. Los datos de Chile muestran índices aún más altos de aumento de publicaciones con colaboradores internacionales en la mayor parte del período cubierto, pasando de 16,6% en 1981 a 39,1% en 1994.

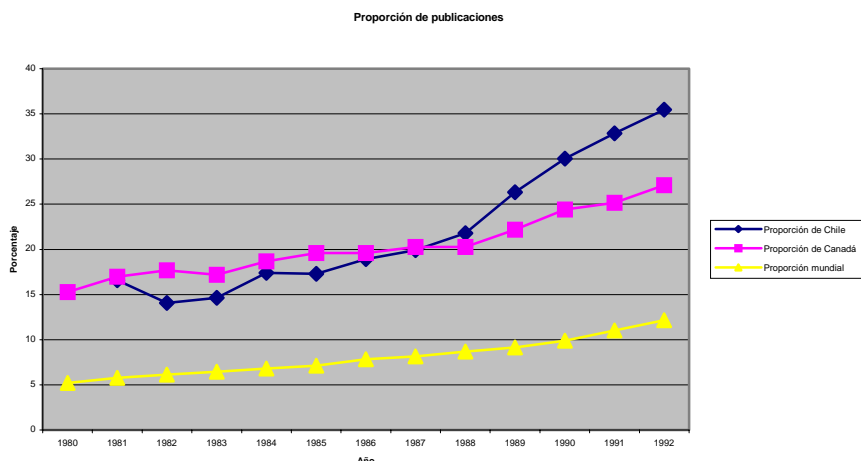


Figura 18: Índice de “Artículos con colaboración internacional” a “Publicaciones Totales” para Canadá, Chile y el Mundo (expresado en porcentaje)

Fuentes: Observatoire des Sciences et Technologies, CIRST, Université du Québec à Montreal; los datos de Chile del Dr. Manuel Krauskopf, Comunicación privada

Estos datos apoyan la hipótesis de firmes incrementos de la colaboración internacional en el mundo de la ciencia académica. Es interesante señalar que, a finales del decenio de 1980, las tres curvas muestran una inflexión que indican un índice mayor del crecimiento de la colaboración internacional. El final del decenio de 1980 fue el momento en que empezaron a generalizarse las comunicaciones electrónicas. Parece que la llegada de Internet, y especialmente del correo electrónico, vino a acelerar una tendencia ya existente hacia una mayor colaboración internacional. De hecho, el índice medio de aumento de publicaciones en colaboración, expresado en porcentaje de publicaciones conjuntas por año, que se duplicó en el período 1989-1995 se compara con el período 1980-1988, como se ve en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Índices medios de cambio de autoría conjunta internacional de artículos, en porcentaje de publicaciones conjuntas por año

	Período 1 - 1980-1988	Período 2 – 1989-1995
Índice de cambio mundial	0.43	0.84
Índice de cambio en Canadá	0.62	1.49
Índice de cambio en Chile	0.74	2.16

Fuente: como en la Figura 17

El papel determinante que han desempeñado las tecnologías de la información, informática y telecomunicaciones en la colaboración científica internacional queda más claro en un informe de la OCDE (OCDE 1998, p. 19) que describe cómo:

“Un cambio significativo en la organización de la ciencia ha sido el aumento de la colaboración a distancia, sobre todo a escala internacional. Las redes informáticas han reducido la necesidad de los colaboradores de estar en un mismo sitio. Con ello ha

emergido una forma nueva de trabajo científico, el “grupo de investigación extendido”. Se trata en rigor de un grupo de investigación grande, unificado, cohesionado, que colabora y está disperso geográficamente, pero coordinado como si estuviera en un mismo sitio y bajo la guía de un solo director. Permite el acceso a los colegas y al equipamiento, software y bases de datos que tradicionalmente forman parte de la organización de laboratorio, al margen de la geografía. Estos “colaboratorios” tienen una gran base en las TIC para la coordinación de su trabajo.”

Dentro del modelo de Canadá de mayor cooperación internacional, según los investigadores del Observatoire des Sciences et des Technologies de la Universidad de Québec de Montreal, se ha producido un cambio en cuanto a los países de origen de los colaboradores pues destacan que: “Desde el decenio de 1980, nuestros investigadores universitarios se alían cada vez menos con colaboradores americanos. Pero este cambio no ha aumentado la colaboración con investigadores europeos, a excepción de los alemanes, sino que nuestros investigadores se han vuelto más bien hacia Asia, sobre todo al Japón, y a pequeños países industrializados, como los Países Bajos, para encontrar colaboradores” [GODIN B. Y GINGRAS Y. (1996b)]

Conclusión

Gibbons y Farina en su artículo de 1982 habían supuesto que los gobiernos iban a tener que introducir formas de financiación diferentes de las tradicionales ‘subvenciones a la investigación’ si querían introducir cambios en las formas de producir y emplear el conocimiento científico. El análisis de los tres estudios de casos de este artículo muestra que en tres ámbitos diferentes en cuanto a circunstancias económicas y políticas, los gobiernos han trabajado para mantener su ayuda a los investigadores del modelo tradicional de la ‘Republic of Science’ a la vez que canalizaban niveles sustancialmente incrementados de ayuda siguiendo los criterios que definen las ‘nuevas formas de producción del conocimiento’.

Traducido del inglés

Referencias

ADVISORY COUNCIL ON SCIENCE AND TECHNOLOGY, 1999, *Public Investments in University Research: Reaping the Benefits*, Informe del grupo de expertos sobre la comercialización de la investigación universitaria Ottawa, Gobierno de Canadá

de SOLLA PRICE, D. (1963) *Little Science, Big Science*. Nueva York: Columbia University Press.

GIBBONS and FARINA, 1982, "The Funding of University Research: a comparative study of the United Kingdom and Canada" *Research Policy* 11 , p. 15-31.

GIBBONS, LIMOGES, NOWOTNY, SCHWARTZMAN, SCOTT and TROW, 1994: " *The New Production of Knowledge*" Londres, Sage,

GODIN, B., GINGRAS, Y., and DAVIGNON, L. (1998), Knowledge Flows in Canada as measured by Bibliometrics, Documento de trabajo preparado para Statistics Canada, Catalogue # 88F006XPB No. 10

GODIN B. and . GINGRAS Y. (1999a) *The Place of Universities in the System of Knowledge Production.*, OST, CIRST, Universidad de Quebec, Montreal,

GODIN B. et Y. GINGRAS Y. (1999b) *L'impact de la recherche en partenariat sur la production scientifique*, informe presentado en AUCC, OST, CIRST, Universidad de Quebec, Montreal, AUCC, Ottawa

LUNDEVALL, B-A (Ed) *National Innovation Systems: Towards a theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter, Londres, 1992).

MAYORGA, Román, 1997 *Closing the Gap*, Social Programs Division, Social Programs and Sustainable Development Department, IDB, Washington

MULLIN, ADAM, HALLIWELL, and MILLIGAN , 1999, *Science, Technology, and Innovation in Chile* , Ottawa. IDRC

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES,1965, *Basic Research and National Goals, A Report to the Committee on Science and Astronautics, US House of Representatives*, Washington

OCDE , 1963, *Science, Economic Growth and Government Policy*, OCDE, París

OCDE, 1964, *The Measurement of Scientific and Technical Activities, (The "Frascati Manual")* OCDE, París

OCDE 1971, *Science, Growth and Society*, OCDE, París

OCDE 1980, *Technical Change and Economic Policy*, OCDE, París

OCDE 1998, *The Global Research Village: How Information and Communication Technologies Affect the Science System*, OCDE Paris

POLANYI, M, 1962, "The Republic of Science: its Political and Economic Theory", *Minerva*, 1, I, 54-73

SMUTYLO, T, and KOALA, S., 1992, *Research Networks: Evolution and Evaluation from a Donor's perspective*, Ottawa, IDRC

Nota biográfica

Jane M. Russell es Investigadora Titular del Centro Universitario de Investigaciones Bibliotecológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dirección postal: Centro Universitario de Investigaciones Bibliotecológicas, Torre II de Humanidades, pisos 12 y 13, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510 México DF, México. Email: jrussell@servidor.unam.mx Sus principales intereses en la investigación versan sobre el estudio de los patrones de comunicación y colaboración entre los científicos mexicanos.

La comunicación científica a comienzos del siglo XXI

Jane M. Russell

Introducción

La comunicación es esencial a la naturaleza y práctica de la ciencia. El hecho de que el número de publicaciones y artículos se haya utilizado como indicador del crecimiento científico establece la producción de publicaciones del proceso de investigación como medida válida de su actividad. Los científicos no sólo comunican los resultados a sus colegas a través de los artículos publicados, de *preprints* (impresiones preliminares) electrónicos y de presentaciones de conferencias, sino que también se apoyan en el conocimiento de trabajos publicados con anterioridad para formular propuestas y metodologías de investigación. El intercambio de opiniones y datos con los colegas es parte esencial de la fase experimental. Por lo tanto, la comunicación está presente en todas las etapas del proceso de investigación.

Se ha definido la comunicación académica como "el estudio de cómo los académicos en cualquier campo (por ejemplo, las ciencias físicas, biológicas, sociales y comportamentales, las humanidades, la tecnología) utilizan y difunden información a través de canales formales e informales" (Borgman 1989). Los canales formales corresponden a la información publicada (es decir, hecha pública), como la que contienen libros y publicaciones, y que suele estar disponible durante largos períodos para un amplio público. Los canales informales son más efímeros y están limitados a ciertos destinatarios. Ejemplos notables de éstos son la comunicación oral y la correspondencia personal (Meadows 1998). Y los medios informales se distinguen de los canales formales en que permiten una interacción más inmediata entre el emisor de la información y el receptor.

La tecnología de la información, como convergencia de ordenadores y redes, está aportando cambios de gran alcance a los sistemas de comunicación científica. Este cambio ha sido comparado con otros cambios importantes en el sistema de la ciencia, como el desarrollo de la ciencia global y el auge de las ciencias biológicas (Kling y McKim 1999). El hecho de que las investigaciones sobre la comunicación académica cobraran una nueva importancia a partir de mediados de los años noventa se puede atribuir a una reestructuración progresiva del sistema de

comunicación académica junto a un rápido crecimiento de la tecnología de la información, el trabajo en redes y de las publicaciones electrónicas (Borgman 2000).

Tanto las comunicaciones formales como informales están experimentando alteraciones radicales, de tal modo que la distinción entre ambas se vuelve cada vez más borrosa. Este desdibujarse de las divisiones establecidas es un elemento clave en el cambio de los medios impresos a los electrónicos. Esto influye no sólo en la manera en que se intercambia información sino también en las instituciones responsables del procesamiento y distribución de la información. Los papeles tradicionales asignados al productor, al procesador y al usuario de la información están experimentando importantes transformaciones. La autopublicación de un informe de investigación en la red por parte de los científicos o de las instituciones responsables del trabajo no puede ser definida con claridad en términos de la tradicional división de comunicación formal/informal, puesto que están implícitos ambos tipos de acciones. Informal, porque la comunicación no es parte de un formato fijo, como un artículo de revista, y formal, por cuanto la comunicación no está limitada a un grupo definido de receptores sino disponible para cualquiera que desee tener acceso a ella. Tampoco podemos definir claramente en términos tradicionales el papel de los científicos que "públican" sus trabajos en la red puesto que son productores de información y a la vez actúan como sus propios correctores editores. También pueden agregar una función de cognitiva a su informe creando vínculos entre su "publicación" y otras disponibles en la red.

Este tipo de fenómenos están influyendo en la estructura general del sistema de comunicación científica, transformando las funciones y los papeles de diferentes actores. Por esto, los modelos tradicionales de edición y comunicación académica están sujetos permanentemente a nuevos análisis en el contexto del panorama actual definido por las tecnologías de la información. La dirección que tomarán estos cambios durante los primeros decenios del nuevo siglo son materia de tentadoras especulaciones.

Las publicaciones académicas en transición

Las publicaciones son fundamentales para el campo de la comunicación formal de la ciencia. Las publicaciones científicas nacieron a comienzos del siglo XVII, cuando dejó de ser práctico para los miembros de las sociedades científicas eruditas comunicar sus trabajos mediante cartas privadas. La calidad del trabajo impreso estaba garantizada por el proceso de revisión de los pares. Las publicaciones formales también eran una manera de conservar un archivo de los resultados y observaciones. A lo largo de los próximos tres siglos se construyó una enorme industria internacional de publicaciones académicas para facilitar la comunicación entre investigadores, estudiosos y académicos (Oppenheim, Greenhalgh y Rowland 2000).

Muchos expertos creen que las publicaciones académicas, de las cuales las dedicadas a la investigación son el principal vehículo, se encuentran actualmente en crisis ante la aparición de nuevas estructuras de comunicación. Si bien la industria de publicaciones académicas recibe su impulso de la necesidad de los científicos y académicos de "publicar o perecer", el control del sistema está cada vez más en manos de las empresas editoriales. En los últimos años, las bibliotecas académicas se han visto obligadas a disminuir sus suscripciones a publicaciones aún cuando la producción de información académica crece exponencialmente. Por un lado, esto se debe a la disminución de los presupuestos de biblioteca y, por otro, al aumento del número de

publicaciones especializadas y al alza de los precios. Por consiguiente, hay menos publicaciones disponibles a través de los servicios de las bibliotecas a la comunidad académica en todo el mundo. Muchos bibliotecarios y especialistas de la información ven en el aumento de la comercialización de las publicaciones académicas una amenaza al libre flujo de información académica, esencia misma de la investigación y la creatividad académicas, que ha regido el sistema de comunicación académica durante tanto tiempo (Create Change 2000).

El hecho de que los editores tengan los derechos exclusivos de los artículos que aparecen en sus publicaciones provoca a menudo descontento en la comunidad académica. Los términos y condiciones restrictivas impuestas por ciertos editores a los autores que desean volver a publicar su propio material o a utilizarlo con fines didácticos irrita a los autores y a las universidades por igual. Los altos costos de readquisición que exigen las grandes editoriales por materiales generados como resultado de una costosa investigación, financiada a menudo por las propias universidades, ha inclinado a autores y administradores hacia la idea de la autopublicación (Anon 2000). La publicación electrónica está siendo adoptada como una alternativa de los autores que no pueden o no desean satisfacer sus demandas de producción mediante publicaciones tradicionales.

Numerosos académicos no ven razón alguna para que su comunicación siga dependiendo casi totalmente de la industria editorial. Sin embargo, se comprende que es probable que los sistemas alternativos de publicación no tengan éxito si no existen competencias profesionales editoriales. El hecho de que la tecnología de la información haya dotado de competencias informáticas a los académicos ha disminuido la brecha entre las habilidades del autor y el editor (Openheim, Greenhalgh y Rowland 2000). Los programas cada vez más potentes y de fácil empleo, además del apoyo institucional especializado en publicaciones y en competencias informáticas, ha brindado a muchos científicos las condiciones necesarias para pensar en publicar sus propios trabajos.

Se ha sostenido que en la reestructuración de las comunicaciones académicas se podría asignar un papel vital a la universidad y a otras instituciones académicas. La publicación de trabajos especializados se podría garantizar mediante la editorial universitaria, que conservaría los derechos y, por lo mismo, disminuiría la cantidad de dinero gastado en la recompra de los trabajos de investigadores y académicos universitarios a las editoriales comerciales (Openheim, Greenhalgh y Rowland 2000).

Otros autores han sostenido que los académicos de todas las disciplinas podrían "publicar" sus artículos en los ficheros abiertos de un "Sistema de Comunicación Académica", una red electrónica donde las universidades volverían a tomar el control sobre quién y qué se "publica". Los comités editoriales con miembros nominados y elegidos por las instituciones participantes calificarían cada artículo, según su contribución al campo especializado, antes de que entrara en el sistema. Los lectores tendrían la posibilidad de dejar comentarios personales sobre diferentes aspectos del contenido del artículo, como sugerencias para incluir referencias bibliográficas adicionales, refutación de los argumentos, errores en los datos, y otros. Después de que el artículo haya permanecido en el sistema durante un determinado período (se ha hablado de seis meses) se podría preparar una versión modificada cuya aprobación final dependería de los comités editoriales. Entre las ventajas que esto implica está el dinero ahorrado en costosas suscripciones a las publicaciones, dinero que se puede destinar a otros fines. Cuando la

biblioteca ya no tiene que procesar y guardar cada vez más publicaciones, también se ahorrará el tiempo y el espacio de estanterías (Rogers y Hurt 1990).

Sin embargo, en el clima académico reinante actualmente, el prestigio asociado al hecho de publicar en costosas revistas de papel sometidas a la revisión de los pares es un hecho que los académicos no pueden ignorar. La publicación académica seguirá siendo la opción preferida de la mayoría de los académicos siempre y cuando este tipo de publicación sea la única considerada válida por los comités de evaluación. Una de las expectativas de una red del tipo "Sistema de Comunicación Académica" es que las instituciones académicas reconocerían automáticamente la publicación en la red como válida para las promociones docentes, para acumular méritos, para solicitar fondos y otros ejercicios de evaluación académica. En este momento, la decisión de a quién se publica sigue estando en manos de los editores y de su círculo interno de árbitros.

La decisión de qué constituye una "publicación" en el plano electrónico está estrechamente relacionada con la presencia de algún tipo de indicadores de garantía de calidad. La fiabilidad se considera uno de los requisitos para poder publicar en la red. Esto implica que el documento ha sido objeto de algún tipo de proceso social, como resultado de lo cual se puede otorgar un alto nivel de confianza al contenido de dicho documento electrónico. Este proceso social normalmente se basa en normas específicas de la comunidad, como las que confieren la revisión de los pares, la empresa editorial, la calidad o el patrocinio de la publicación (Kling y McKim 1999). Los autores tienden a escoger las publicaciones según su prestigio, la calidad de su arbitraje, su capacidad de llegar al público definido, y su accesibilidad para los lectores a los que se quiere llegar (Borgman 2000). Resulta interesante que la velocidad de la publicación parezca ser un valor secundario, con la excepción, tal vez, de algunos ámbitos sumamente competitivos de investigación, donde es imperativo reivindicar un lugar de preferencia en los nuevos hallazgos.

Se entiende que los derechos de autor y la garantía de calidad sean dos de los principales aspectos que preocupan a la comunidad académica en relación a la proliferación de publicaciones electrónicas. La mayoría de las publicaciones electrónicas actuales son las contrapartes electrónicas de sus versiones impresas, se cobra por acceder a ellas y se controlan mediante contraseñas electrónicas. Los derechos de autor siguen en manos de las editoriales comerciales y la aceptación o rechazo de los manuscritos depende de los árbitros elegidos por los editores. Puede que el medio haya cambiado, pero las fuerzas del mercado no dejan de ejercer un control importante sobre el sistema formal de comunicación académica.

Sin embargo, esto no es más que un aspecto de la historia. Los científicos en ciertos dominios sumamente dinámicos, donde las revistas de este tipo han dejado de ser relevantes para las investigaciones actuales, se han beneficiado de las facilidades ofrecidas por las nuevas tecnologías para convertirse en pioneros de novedosas prácticas de comunicación. Éstas suelen combinar elementos formales e informales, con lo cual no sólo se modifica la "faz" de las prácticas actuales de las comunicaciones científicas, sino también la manera en que se lleva a cabo la investigación científica. Sin embargo, estos cambios fundamentales no se han producido de la noche a la mañana. Son más bien el resultado progresivo de varios decenios de innovación y desarrollo de la comunicación mediatizada por medio del ordenador, que al principio facilitó las estructuras de información existentes y luego llevó a cabo la reforma del sistema de comunicación académica.

El cambio de patrones de las comunicaciones científicas

A lo largo de los últimos cuatro decenios, las innovaciones tecnológicas han transformado la manera en que se procesa, se guarda, se accede, se comparte y se analiza la información. Hacia 1975, ya existía la producción electrónica de publicaciones y los servicios en línea de acceso a información. Sin embargo, el flujo de información científica y técnica había cambiado poco con los centros de información y de datos formando parte integral del sistema de comunicación científica. El final del siglo pasado fue testigo del crecimiento de los ordenadores y las telecomunicaciones en la transferencia de información científica en coexistiendo con los medios más tradicionales de comunicación, como los revistas y libros. La investigación científica era cada vez más de colaboración y trascendía las fronteras institucionales, geográficas y políticas. Esta situación condujo a los científicos a exigir modos más frecuentes, dinámicos y flexibles de intercambio de información con sus colegas. Proliferó la comunicación informal en las conferencias, los congresos y otras reuniones científicas y técnicas, lo cual testimonia de la permanente necesidad del contacto personal. La aparición de redes especializadas de telecomunicación a partir de los años setenta, de Internet a comienzos de los años ochenta, y de la World Wide Web (www) a comienzos de los años noventa, proporcionó a los científicos la potenciación en la información que habían estado buscando.

La ambigüedad que existe en el actual entorno de la información científica es el resultado, por un lado, de un acceso más amplio e integrado a un amplio espectro de fuentes de información y, por otro, de dificultades relacionadas con el acceso intelectual a materiales especializados. Los científicos se quejan de la sobreabundancia de información, pero a la vez elogian la comunicación que les facilitan los ordenadores en múltiples aspectos de sus necesidades de información y comunicación. Los canales individuales son cada vez más eficaces y efectivos, si bien el dilema sigue estando en la selección de los más apropiados entre los muchos disponibles. El Internet y el sistema World Wide Web proporcionan acceso a materiales derivados de muchas formas tradicionales de literatura científica y técnica, como artículos individuales, publicaciones, boletines, bases de datos bibliográficos, conjuntos de datos, directorios, informes institucionales, legislación y normas, así como sistemas interactivos innovadores. Los catálogos de biblioteca y los catálogos colectivos están disponibles en la línea. Sin embargo no todo el material disponible en la red es de fácil acceso para los usuarios. El acceso intelectual a las bases de datos en línea, tradicionales, por ejemplo, está facilitado por el control del vocabulario en la indización, y en el uso de tesauros, mientras que otros materiales en Internet se pueden buscar sólo mediante amplias clasificaciones en directorios de direcciones en la red e interconexiones semánticas implícitas en los vínculos de hipertextos (Vickery 1999).

Se podría argumentar que sólo se puede definir una pequeña parte de la información en Internet como académica, y que es más probable que ésta sea más fácil de obtener que la información no académica. Los científicos, al igual que todos los profesionales, requieren diferentes tipos de información para llevar a cabo sus tareas diarias, tales como detalles de vuelos y hoteles para planificar conferencias, información sobre los programas de las conferencias e información sobre los productos, como equipos de laboratorio, mobiliario de oficina o agentes reactivos. También tienen que identificar y contactar con especialistas en sus propios campos y otros relacionados para obtener información, consejos y para buscar participación en conferencias. Este último tipo de información solía estar disponible sólo a través del boca a boca entre los profesionales.

Actualmente, se puede encontrar fácilmente en páginas web personales, institucionales o de sociedades científicas.

La facilidad y la velocidad en adoptar las tecnologías de la información y la comunicación han variado sensiblemente según los campos. Mientras se espera que algunas de las nuevas tecnologías influirán en las prácticas del trabajo científico en todo el espectro, es probable que otras penetren sólo en aquellos campos capaces de beneficiarse plenamente de sus capacidades de innovación. Los hallazgos apuntan a que cada campo se beneficiará de aquellos aspectos de la comunicación mediatizada por medio del ordenador que mejor se adecúe a su organización social. Éstas se volverán cada vez más institucionalizadas a medida que sean incorporadas en las prácticas de trabajo rutinarias (Walsh y Bayma 1996).

El desarrollo técnico, que ha penetrado una amplia gama de campos de investigación suele ser dirigido por científicos en campos sumamente activos y bien financiados. Las innovaciones se suelen producir cuando los sistemas tradicionales de impresión no pueden mantenerse al día con las demandas de comunicación de campos en rápido desarrollo. Uno de estos casos es la fusión fría, donde los medios de comunicación tradicionales no tardaron en revelarse inadecuados para divulgar los rápidos cambios que se producían en este tema de investigación "caliente" a finales de los años ochenta. Un boletín electrónico creado especialmente, junto con mensajes individuales de correo electrónico se convirtieron en los principales métodos para intercambiar información durante los escasos meses en que el tema fue el centro del debate científico. Cuando los artículos fueron publicados en las revistas académicas, la mayoría de los miembros de la comunidad científica ya había decidido que no merecía la pena seguir indagando en el tema (Meadows, 1991).

Los *preprints* ya se han convertido en el principal método para informar sobre nuevos hallazgos para los investigadores en campos como las matemáticas, la física, la informática y la lingüística. Al cabo de un año de haberse iniciado el servicio de *preprints* en la física teórica de alta energía a comienzos de los años noventa, se convirtió en el procedimiento estándar para divulgar información en este campo. Estos ficheros de impresión electrónica están completamente automatizados, incluyendo el proceso de envío de los manuscritos. Se puede acceder a ellos vía correo electrónico, los ftp. anónimos y la World Wide Web. Se ha acelerado la comunicación de las investigaciones a la vez que se evita el despilfarro que produce la distribución impresa. Además, el sistema sirve como un terreno virtual de reunión para los científicos que de otra manera no habrían podido tomar contacto unos con otros. A pesar de que la física de alta energía ya acostumbraba a intercambiar impresiones preliminares en soporte papel que ya habían reemplazado a las revistas como principal fuente de comunicación, esto no se considera un requisito para que otras disciplinas adopten un archivo electrónico de *preprints* (Ginsparg 1996).

Como hemos visto, el empleo de la tecnología interactiva ha variado enormemente entre una disciplina y otra y entre diferentes campos e instituciones (North Carolina Board of Science and Technology/National Research Council 1999). Estas diferencias se pueden explicar en parte por las diferencias en el empleo de la tecnología de la información y por la voluntad de colaborar y las formas de colaboración escogidas. Las bases de datos, las bibliotecas y el acceso a ellas son esenciales para disciplinas dependientes de los datos, mientras que la capacidad para desplegar o visualizar subconjuntos de datos suele tener una importancia primordial para otros. Los algoritmos y los programas también son recursos clave para disciplinas que dependen de

modelos (National Research Council. Committee towards a National Collaboratory: Establishing the User-Developer Partnership 1993). En algunos campos, la utilización de tecnologías ha insuflado nueva vida a viejos temas de investigación. Este es el caso de la geometría bidimensional, que actualmente desempeña un importante papel como base para la visualización en relación con el modelaje y la informática científica. Asimismo (\Leftarrow *add*) se ha puesto un creciente énfasis en las matemáticas para algoritmos en sistemas y programas de cómputo (Fenstad 1999).

Sin embargo, tal vez los cambios más importantes que produce la enorme flexibilidad y las amplias capacidades de la comunicación electrónica son aquellos que influyen en las prácticas establecidas en la investigación. Nuevas maneras de llevar a cabo actividades fundamentales para el trabajo científico, como la colaboración en la ciencia, están experimentando cambios paradigmáticos. Se empiezan a constituir nuevos campos en la intersección de disciplinas establecidas como resultado de la rápida penetración de la tecnología de la información en todos los campos del trabajo científico.

De la comunicación a los "colaboratorios"

La revolución de las tecnologías de la información no ha restado importancia a la tarea intelectual de generar materiales en la ciencia, la tecnología y la medicina. Sin embargo, la fusión de la informática y la comunicación electrónica posee el potencial para aumentar la productividad y la eficacia de la investigación (National Research Council. Committee towards a National Collaboratory: Establishing the User-Developer Partnership 1993). En general, los científicos abordan problemas cada vez más complejos de carácter fundamentalmente interdisciplinario que es necesario investigar con equipos de especialistas, cada uno aportando al ejercicio colectivo sus propios conocimientos, contactos, información y datos.

La posibilidad de los científicos de comunicarse entre continentes ha propiciado un aumento de la colaboración en los esfuerzos de investigación y de la labor académica a nivel global, con una mayor movilidad de investigadores y académicos. El enorme aumento hacia finales del siglo XX del número de artículos en colaboración es un indicador de esta situación. De 1981 a 1995, el número de artículos con más de un autor aumentó en un 80% y el número de artículos basados en la colaboración internacional aumentó en 200%, mientras que el total del aumento de la producción de artículos fue de 20%. Estas tendencias han afectado a todos los campos (National Science Board 1998). La colaboración entre colegas es un desafío para la comunidad científica. A pesar de que la sola tecnología no obligará a cooperar a quienes no estén dispuestos, puede proporcionar el entorno necesario para facilitar la colaboración y la comunicación.

La palabra "colaboratorio", fusión de "colaboración" y "laboratorio", ha sido acuñada para definir la combinación de tecnología, instrumentos e infraestructura que permite a los científicos trabajar con instalaciones remotas y con otros colegas como si estuvieran situados en el mismo lugar y con una comunicación de interfase eficaz (Glasner 1996). Estos "centros sin paredes". están relacionados con un nuevo paradigma en la práctica de la ciencia que permite a los investigadores de cualquier campo tener fácil acceso a personas, datos, instrumentos y resultados - una especie de laboratorio de investigación virtual. Los colaboratorios propician un delicado equilibrio que reconoce las diferencias disciplinarias y, a la vez, trabaja en aras de un objetivo de investigación común. De esta manera, funcionan como puentes para zanjar las brechas entre las

disciplinas. También proporciona un excelente mecanismo para aprovechar complejas tecnologías informáticas y de trabajo en redes para ampliar las fronteras científicas, especialmente en campos donde se realiza investigación de punta como la oceanografía, la física espacial y la biología molecular (North Carolina Board of Science and Technology/National Research Council 1999).

La investigación para el mapeo de los genes se considera un excelente ejemplo de laboratorios en la ciencia. Incluso ha creado un nuevo campo, la bioinformática, definida como la unión de los ordenadores y la biología, que se generó junto con la investigación para descifrar el genoma humano, para almacenar, analizar e interpretar los datos genéticos. Este campo fue inaugurado a comienzos de los años ochenta con una base de datos llamada GenBank, creada por el Departamento de Energía de Estados Unidos para conservar las breves retazos de secuencias de ADN que los científicos comenzaban recién a obtener mediante el Proyecto Genoma Humano (PGH). Posteriormente, el volumen de datos de secuencias de ADN en el GenBank creció exponencialmente. Las empresas privadas y otros organismos públicos en Estados Unidos, Europa y Japón, comenzaron proyectos paralelos creando bases de datos propias que contenían información sobre secuencias de genes, la expresión de los genes, la estructura de diversas proteínas y mapas de como éstas interactúan, lo cual hizo del mapeo del genoma humano un proyecto verdaderamente internacional. Se desarrollaron programas especiales para comparar las secuencias a través de Internet. La complejidad de las bases de datos genéticas exigía que una amplia gama de especialistas trabajaran juntos para ampliar la base de conocimientos de la información genética. Con tan abundante información de tanto interés para los investigadores en todo el mundo, se produjo una creciente necesidad de vincular los datos. El carácter interoperable que las diversas bases de datos generaron, es decir, su capacidad para "hablar" unas con otras, se convirtió en un tema clave. Se montaron alianzas estratégicas entre las diferentes instituciones y empresas implicadas en la investigación del genoma para vincular sus diversas fuentes de datos y minimizar la redundancia (Howard 2000).

El proyecto genoma humano también es diferente de la investigación tradicional porque crea un gran cuerpo de datos de referencia útiles para un gran número de disciplinas científicas. La gran cantidad de datos generada por el proyecto genoma humano comenzó a cambiar una forma de comunicación científica que había existido sin alteraciones durante casi tres siglos. El campo se desplazó rápidamente a un entorno electrónico, puesto que el soporte papel era demasiado voluminoso para conservar una cantidad tan grande de datos. El número de boletines en este campo aumentó con el número de servidores de listas. No obstante, la innovación más grande en las prácticas tradicionales de la comunicación fue que los datos eran ingresados directamente al GenBank y en bases de datos similares antes de la publicación de los manuscritos en las principales revistas del campo, es decir, antes de la revisión de los pares. Una de las ventajas de este sistema es que cualquier problema con los datos puede ser identificado por el equipo de la base de datos y ser corregido antes de publicarlo. Además, a diferencia de las publicaciones tradicionales, los revisores pueden tener acceso a los datos originales (Weller 1996).

Sin embargo, los laboratorios no deberían ser la prerrogativa exclusiva de los países científicamente avanzados. Su potencial para permitir a los países periféricos colaborar en investigaciones de punta es un tema vital para aumentar la participación de las pequeñas comunidades científicas en la investigación a nivel mundial. Una de las principales preguntas en relación a la rápida difusión de la tecnología de la información es hasta qué punto esto desdibuja

la diferenciación de la ciencia entre centro y periferia, especialmente con respecto a la presencia internacional de científicos y de investigaciones científicas del mundo menos desarrollado.

La reciente publicación por parte de científicos del estado de Sao Paulo de la primera secuencia de un patógeno vegetal demuestra que los países periféricos pueden competir en proyectos científicos de punta (Collins 2000). Hay dos iniciativas complementarias que contribuyeron a situar a Brasil sólidamente en el mapa de la ciencia mundial. Una política iniciada en los años sesenta que garantizaba por ley una participación fija de todos los impuestos estatales para FAPESP, el organismo estatal para la ciencia y la tecnología, proporcionó la financiación que requería un proyecto tan ambicioso. Más tarde, la creación de un instituto de investigación "virtual" que vinculaba los 35 laboratorios que trabajaban en la secuenciación en todo el estado de Sao Paulo proporcionó la compleja infraestructura física, técnica y humana necesaria para realizar el trabajo. Idealmente, otros países "pequeños", en el plano científico, podrían seguir el ejemplo. Sin embargo, en la práctica, las condiciones suelen distar mucho de ser las adecuadas para adoptar estrategias similares de potenciación de las empresas científicas nacionales o estatales.

La comunicación mediatizada por medio de los ordenadores en los países menos desarrollados

En principio, el cambio a la publicación electrónica trae consigo importantes beneficios para los científicos en los países menos desarrollados debido al hecho de que, por primera vez, pueden relacionarse informalmente con investigadores en cualquier lugar del mundo. Sin embargo, la imagen idealizada de un cambio paradigmático en la comunicación científica internacional, donde los científicos de los países menos desarrollados desempeñan un papel cada vez más importante en la ciencia internacional, ha sido seriamente impugnado por especialistas del mundo en desarrollo que sostienen que la sola tecnología no modificará su posición periférica. Muchos creen que la mayoría de los países menos desarrollados no participan en la revolución de las comunicaciones y que se está agregando una "pobreza de información" a las numerosas brechas que separan a los países menos desarrollados de los países industrializados. Los países menos desarrollados sufren un gran retraso con respecto los países industrializados en todos los aspectos de la producción de conocimientos (Arunachalam 1999).

Nadie negaría que el acceso a los ordenadores está aumentando en casi todos los países. A pesar de que la política general de la mayoría de las instituciones de investigación consiste en proporcionar ordenadores en red a todos los investigadores, su uso varía con las características sociales económicas y normativas de cada país (Meadows 1991). En estas circunstancias, los países menos desarrollados parecen sufrir una clara desventaja.

Los costes de la tecnología por sí solos podrían ser un obstáculo para las instituciones que precisamente más podrían beneficiarse de la investigación facilitada por la informática. Se corre el riesgo de que los instrumentos de alta tecnología aumenten el retraso de los países en desarrollo en relación a los países más industrializados en la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo en la actualidad. Sin una infraestructura de telecomunicaciones y de conectividad equitativa, no se pueden explotar los recursos intelectuales de los especialistas del mundo menos desarrollado mediante laboratorios de investigación potenciados por la informática. Una posible solución a este problema es una asociación entre el sector comercial y el gobierno para

proporcionar la infraestructura de comunicación tan necesaria a los países en desarrollo. El fondo del asunto es definir el costo de la conectividad y un ancho de banda adecuado (North Carolina Board of Science and Technology/National Research Council 1999).

La ausencia de una infraestructura física de comunicaciones adecuada para apoyar los datos de los trabajos en la red que limitan el acceso a las redes mundiales (Sadowsky 1993) podría ser el principal obstáculo a la ampliación de las comunicaciones mediatizadas por la informática en los países en desarrollo, pero no es el único. Otras limitaciones se deben a una carencia de personal técnico especializado y a una falta de conciencia pública y de los gobiernos acerca de los beneficios de las tecnologías de la información y de la conectividad. Esto último es especialmente verdad en los países más pobres, donde las preocupaciones básicas se centran en la salud y en asuntos relacionados con la alimentación, y donde la tecnología de la información es vista como un artículo de lujo de escasa relevancia o uso práctico. También se menciona con frecuencia un entorno normativo y organizativo inadecuado tanto en el sector gubernamental como institucional para fomentar la implementación rápida, eficaz y sin fisuras de un entorno para la comunicación de la información (Russell 2000).

No todos los obstáculos para el uso óptimo de las nuevas tecnologías electrónicas de la comunicación están relacionadas con los equipos. Los aspectos y temas sociales, culturales y políticos de los países menos desarrollados también influyen en la introducción exitosa de nuevas tecnologías de la comunicación. El hecho de que la mayoría de los programas informáticos y fuentes de información a los que se puede acceder mediante los ordenadores se transmiten no sólo en una lengua extranjera sino también dentro de un ambiente cultural poco familiar, es una limitación importante para los usuarios en la mayoría de sociedades en desarrollo. La mayor parte de la información actualmente disponible en Internet está en inglés, y proviene de las universidades del Norte, a menudo de Estados Unidos. Se ha manifestado la inquietud de que, como resultado de esta transferencia de información, podrían surgir un posible imperialismo del conocimiento y una dominación cultural.

Sin embargo, debido a las grandes diferencias en recursos y capacidades existentes entre los países menos desarrollados, no conviene generalizar demasiado acerca de la actividad científica en estos países como conjunto. También se observan diferentes grados de condición periférica entre diferentes sectores en el interior de los propios países en desarrollo. La concentración de los principales establecimientos de educación superior y de investigación en las principales ciudades señala que la comunicación y las instalaciones telemáticas también están centralizadas. Esto crea una brecha de la información en el interior de los propios países en desarrollo, entre los científicos que trabajan en las grandes zonas urbanas y quienes trabajan en las regiones rurales, prácticamente aislados del entorno electrónico.

Esta creciente demarcación de los científicos de los países menos desarrollados, básicamente entre dos grupos (aquellos que tienen acceso eficaz a las tecnologías de la información, la llamada élite de la información, y aquellos con escaso o nulo acceso), tiene evidentes consecuencias para sus perspectivas de integración en la comunidad científica mundial. Hay estudios que demuestran que los científicos más prestigiosos y favorecidos en los países menos desarrollados normalmente son aquellos que trabajan en las ciencias básicas, sobre todo en los grandes laboratorios centralizados de las grandes ciudades. Estos científicos probablemente tendrán algo en común y mantendrán un contacto más estrecho con el centro que los

investigadores que estudian problemas sólo de interés local. Un estudio reciente sobre el uso de la tecnología de la información entre los científicos mexicanos arrojó como resultado que más del 80% de los físicos y biólogos encuestados que trabajaban en la capital del país tenían buen acceso a correo electrónico y a los servicios de Internet (Ford y Rosas Gutiérrez 1999). Resulta interesante que a este acceso correspondía un mayor índice de publicaciones de este sector en las revistas internacionales. Por otro lado, los científicos aplicados, muchos de los cuales trabajan en el campo, lejos de los principales centros de investigación, normalmente disfrutaban de un menor acceso a los recursos, entre ellos, las tecnologías de la información. En los países menos desarrollados coexisten lado a lado usuarios del "Primer mundo" y el "Tercer mundo".

Es indudable que los científicos y las instituciones de los países menos desarrollados con acceso a complejas tecnologías de la información y telecomunicaciones se encuentran en mejor posición que sus colegas menos privilegiados para desempeñar un papel importante en la comunidad científica mundial. Es menos probable que la información en el entorno electrónico permanezca dentro de un pequeño grupo de investigadores, lo cual elimina el elemento de "acceso cerrado" propio de los medios de transferencia de información más convencionales. Mientras que en el modelo tradicional de la comunicación científica la pertenencia a los centros colegios invisibles se limitaba a un pequeño grupo de investigadores, en el entorno electrónico actual es habitual enviar correos electrónicos o mensajes del servidor de la lista a otros colegas, ampliando así el círculo de receptores potenciales (Weller 1996).

Aún así, la tecnología de la información por sí sola no es capaz de romper las barreras sociales y culturales que, según muchos, impiden a los científicos en los países menos desarrollados asumir su justo lugar en la comunidad internacional de académicos. Sólo se puede eliminar la subjetividad en las evaluaciones científicas cuando aquellas personas responsables de la toma de decisiones entiendan que el origen geográfico de los trabajos científicos tiene escasa incidencia en su calidad.

Las publicaciones electrónicas en Internet tienen importantes implicaciones para las posibilidades de investigación de los países más pequeños cuya producción científica a menudo pasa desapercibida. La información académica de los países menos desarrollados tradicionalmente ha permanecido oculta a la gran comunidad científica debido a la escasa presencia de revistas nacionales en las bases internacionales de datos bibliográficos. Al presentar la investigación local directamente en la World Wide Web, este conocimiento se distribuye mundialmente y es posible acceder a él a través de Internet. Los científicos de los países en desarrollo también tienen acceso potencial a servidores de publicaciones electrónicas y para "publicar" sus resultados directamente sobre estos sistemas de ficheros abiertos y otros similares.

Las comunidades científicas de los países menos desarrollados son muy conscientes de la urgente necesidad de mejorar su uso y sus capacidades informáticas y telemáticas. Al ejercer presión sobre sus gobiernos y al buscar la ayuda de las organizaciones internacionales para mejorar su infraestructura de tecnología de la información, se espera detener la tendencia al aumento de la "brecha digital". Hasta que esto no suceda, muchos científicos de países en desarrollo seguirán dependiendo de colaboradores y colegas altruistas que disponen de un mejor acceso a todo tipo de recursos de información esenciales para seguir siendo competitivos en el entorno de la investigación científica rápidamente cambiante de nuestros días.

Inquietudes actuales y esperanzas futuras

Los tres decenios que han transcurrido desde que Diana Crane escribiera su artículo sobre la naturaleza de la comunicación y la influencia científica (Crane 1970) han sido testigos de una reestructuración radical de la comunicación académica. Se han actualizado los modelos para reflejar los cambios que han traído consigo las emergentes tecnologías de la información, sobre todo en campos como la ciencia espacial, la física de alta energía y la investigación del genoma humano. Quizá el resultado más importante de la incursión de la tecnología de la información en el trabajo científico no ha sido la velocidad, la flexibilidad y el alcance de la comunicación mediatizada por medio de los ordenadores, sino las consecuencias que estos atributos han tenido para la práctica de la ciencia. Actualmente surgen nuevas y fundamentales preguntas acerca de la producción, transferencia y acceso a la información académica que no se formulaban antes de la revolución electrónica. Los derechos de autor y la conservación de los documentos científicos son temas discutidos con frecuencia. Los ficheros de la ciencia deben ser preservados de forma indefinida y, sin embargo, a diferencia de sus contrapartes impresas, los documentos electrónicos no son textos estáticos ni perennes. ¿Quién será el propietario de estos "frágiles" documentos y asumirá la responsabilidad de conservar la herencia científica del mundo en formato digital?

Además, a medida que las publicaciones se desplazan desde un paradigma basado en la imprenta a un formato electrónico, es necesario seguir investigando sobre la naturaleza fundamental de la comunicación y la colaboración científica. La mayor flexibilidad y la penetración mundial y del discurso mediatizado por los ordenadores está teniendo profundas consecuencias para las asociaciones extrainstitucionales, especialmente más allá de las fronteras políticas, culturales y geográficas. Con el fin de comprender el proceso de compartir información de todo tipo sin fisuras, independientemente de la situación geográfica, es necesario tener un conocimiento más profundo del propio proceso de colaboración. Por consiguiente, existe una inquietud por los aspectos sociológicos de la comunicación de la investigación interdisciplinaria, sobre todo cuando ésta se ve restringida a remotas interacciones. La colaboración, al igual que la comunicación, es intrínsecamente un proceso social que indica que participarán numerosos factores (Katz y Martin 1997).

A la larga, el éxito de la infraestructura mundial de información para la investigación científica dependerá de cómo se adecúe a las vidas laborales de las personas y hasta qué punto les ayude a alcanzar sus objetivos. A pesar de que los mecanismos pueden cambiar, las funciones y aspiraciones de comunicación básica de los científicos siguen siendo las mismas. Como señalan algunos autores, podemos realmente imaginar que el trabajo científico del futuro no consistirá en páginas páginas bidimensionales de texto, imágenes y datos numéricos sino en mundos de información navegables en tres dimensiones. Estos mundos tendrán la capacidad de vincularse a otros mundos, como los ficheros en un servidor o a través de la colaboración interactiva en tiempo real con otros científicos (Casher y Rzepa 1995). No es difícil imaginar que es probable que ocurran cambios como éstos impulsados por la tecnología. Es más difícil de prever cómo la comunidad científica, en cuanto estructura predominantemente social, reaccionará ante este tipo de cambios. Lo académico como proceso inherentemente social se encuentra engastado en una estructura establecida de múltiples relaciones y, como tal, manifiesta una resistencia considerable al cambio.

La comunicación informal, que representa los procesos menos estructurados de comunicación entre científicos y grupos de científicos, conoce actualmente un auge debido a las facilidades de los medios electrónicos. La comunicación mediatizada por los ordenadores, en la que antaño se veía un factor de disminución progresiva de la necesidad de que los científicos viajaran grandes distancias para conocerse personalmente, bien podría estar produciendo el efecto contrario. Es probable que un contacto electrónico agradable y productivo entre científicos distantes en el espacio estimule su deseo de conocerse personalmente. La oportunidad de que diferentes formas del discurso informal, como el correo electrónico y los grupos de discusión, abarquen un público más amplio en el debate académico, sumado a medios más baratos y fáciles para viajar, quizá están aumentando la participación en las reuniones científicas internacionales. Puede que Internet esté en vías de reunir al mundo científico, y no sólo en el ciberespacio.

Los cambios en la estructura de los sistemas de comunicación científica, al menos por ahora, serán probablemente más evolucionarios que revolucionarios, y los nuevos sistemas de comunicación coexistirán con el más tradicional. Lo que ahora anticipamos como la dirección que seguirá la comunicación académica tal vez sea una tendencia pasajera, y puede que seamos incapaces de predecir el verdadero futuro (Hurd 1996). Sin embargo, hay dos cosas medianamente claras. En primer lugar, nos encontramos en un período crítico de transición para la comunicación académica cuando se están sentando las bases para el futuro, aunque sea difícil predecir exactamente qué nos depara ese futuro. Y, en segundo lugar, el destino universal de la comunicación académica siempre estará vinculado al progreso y a la difusión de las tecnologías de la información.

Traducido del inglés

Referencias

ANON.2000, Self-publish and be damned? *Inform*, 6 de junio. p.6.

ARUNACHALAM, S., 1999. Information and knowledge in the age of electronic communication: a developing country perspective. *Journal of Information Science* 25 (6):465-476.

BORGMAN, C.L., 1989. Bibliometrics and scholarly communication. *Communication Research* 16 (5):583-599.

BORGMAN, C.L., 2000, Digital libraries and the continuum of scholarly communication. *Journal of Documentation* 56 (4):412-430.

CASHER, O.; RZEPA, H.S.,. 1995. Chemical laboratories using World-Wide Web servers and EyeChem based viewers. *Journal of Molecular Graphics* 13:268-271.[citado, 1 de agosto, 2000]. Disponible en <http://www.ch.ic.ac.uk/talks/acs/anaheim.html>.

COLLINS, P., 2000. Brazilian science. Fruits of co-operation. *The Economist* (8180).[citado, 24 de agosto, 2000]. Disponible en <http://watson.fapesp.br/imprensa/economis.htm>.

CRANE, D., 1970. The nature of scientific communication and influence. *International Social Science Journal* 22:28-41.

CREATE CHANGE, 2000. *Scholars under siege: The scholarly communication crisis*. Association of Research Libraries, Association of College and Research Libraries, and SPARC, 25 de mayo, 2000 [citado, 2 de agosto, 2000]. Disponible en <http://www.createchange.org/home.html>.

FENSTAD, J.E., 1999. Is mathematics still the science of paper, pencils and proofs? *En: Electronic Communication and Research in Europe*, A. J. Meadows y H.-D. Böcker (eds.). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. p. 143-152.

FORD, C.; ROSAS GUTIÉRREZ, A.M., 1999. El uso de la tecnología de la información entre investigadores mexicanos: un estudio preliminar. *Investigación Bibliotecológica* 13 (27):41-68.

GINSPARG, P., 1996. Electronic publishing in science. Winners and losers in the global research village. Ponencia leída ante la Conferencia de Expertos CIUC /UNESCO sobre las publicaciones electrónicas en la ciencia, 1996, UNESCO, París. [citado, 27 de agosto, 2000]. Disponible en <http://www.epub.org.br/papers/ginsparg.htm>.

GLASNER, P., 1996. From community to "collaboratory" ? The Human Genome Mapping Project and the changing culture of science. *Science and Public Policy* 23 (2):109-116.

HOWARD, K., 2000. The bioinformatics gold rush. *Scientific American* 283 (1):46-51.

HURD, J.M., 1996. Models of Scientific Communication Systems. *En: From Print to Electronic. The Transformation of Scientific Communication*, S. Y. Crawford, J. M. Hurd y A. C. Weller (eds.). Medford, N.J.: Information Today. p. 9-33.

KATZ, J.S.; MARTIN, B.R., 1997. What is research collaboration ? *Research Policy* 26 (1):1-18.

KLING, R., Mckim, G., 1999. The shaping of electronic media in supporting scientific communication: the contribution of social informatics. *En: Electronic Communication and Research in Europe*, A. J. Meadows y H.-D. Böcker (eds.). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. p. 175-192.

MEADOWS, A.J., 1991. Communicating research - past, present and future. *Serials* 4 (3):49-52.

MEADOWS, A.J., 1998. *Communicating Research, Library and Information Science*. San Diego: Academic Press.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Committee towards a National Collaboratory: Establishing the User-Developer Partnership. 1993. *National Collaboratories: Applying Information Technology for Scientific Research*. Washington DC: National Academy Press.[citado, 1 de agosto 2000]. Disponible en <http://books.nap.edu/books/0309048486/html>.

NATIONAL SCIENCE BOARD, 1998. Science and Engineering Indicators - 1998. Washington DC: US Government Printing Office.

NORTH CAROLINA BOARD OF SCIENCE AND TECHNOLOGY/NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999. *Collaboratories: Improving Research Capabilities in Chemical and Biomedical Sciences*. Washington DC: National Academy Press. [citado, 1 de agosto, 2000]. Disponible en <http://www.nap.edu/openbook/030906340X/html>.

OPPENHEIM, C.; GREENHALGH, C.; ROWLAND, F., 2000. The future of scholarly journal publishing. *Journal of Documentation* 56 (4):361-398.

ROGERS, S.J.; HURT, C.S.. 1990. How scholarly communication should work in the 21st century. *College and Research Libraries* 51 (1):5-8.

RUSSELL, J.M., 2000. Tecnologias eletrônicas de comunicação: bonus ou fardo para os cientistas nos países em desenvolvimento? *En: Estudos Avançados em Comunicação Científica*. Brasília: Universidad de Brasília, en prensa. (*change to:*

RUSSELL, J.M., 2000. Tecnologias eletrônicas de comunicação: bônus ou ônus para os cientistas dos países em desenvolvimento? *En: Comunicação Científica*, S. P. M. Mueller y E. J.L.Passos (eds.). Estudos Avançados em Ciência da Informação V. 1. Brasília: Departamento de Ciência da Informação, Universidade de Brasília. p.35-49.

SADOWSKY, G., 1993. Network connectivity for developing countries. *Communications of the ACM* 36 (8):42-47.

VICKERY, B., 1999. A century of scientific and technical information. *Journal of Documentation* 55 (5):476-527.

WALSH, J.P.; Bayma, T., 1996. Computer networks and scientific work. *Social Studies of Science* 26:661-703.

WELLER, A., 1996. The Human Genome Project. *En: From Print to Electronic. The Transformation of Scientific Communication*, S. Y. Crawford, J. M. Hurd y A. C. Weller (eds.). Medford, N.J.: Information Today. p.35-64.

Nota biográfica

María Jesús Santesmases es doctora en ciencias químicas y actualmente becaria post-doctoral de la Comunidad de Madrid en la Unidad de Políticas Comparadas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. Email: mjsantemes@iesam.csic.es Sus publicaciones más recientes son Mujeres científicas en España: profesionalización y modernización social (2000); Entre Cajal y Ochoa: ciencias en la España de Franco (próxima publicación) y “Severo Ochoa and the biomedical sciences in Spain under Franco” Isis vol. 91 (4) (2000) (en prensa).

Centros y periferias: tendencias de la política científica y biología molecular en España

María Jesús Santesmases

En este trabajo se revisa el desarrollo experimentado por las investigaciones biomédicas en España en un doble perspectiva comparada. Por un lado se estudian los orígenes de la política científica en Europa tras la Segunda Guerra Mundial y su influencia en España. Por el otro, se analiza el desarrollo de las experimentaciones en ciencias biomédicas en Estados Unidos y su influencia en España. A efectos de síntesis, ambas perspectivas, la europea y la norteamericana, se consideran inseparables entre sí y en el caso de los Estados Unidos, la enorme y veloz producción de conocimiento científico en las áreas biomédicas se toma como inseparable, a su vez, de las políticas a favor de la ciencia y de la tecnología que se pusieron en marcha en aquel país. Tanto desde EEUU como desde las organizaciones internacionales que surgieron del Plan Marshall (la Organización Europea para la Cooperación Económica, OEEC, y su heredera la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE) se implantaron políticas que colaboraron con el establecimiento de las investigaciones en bioquímica y en biología molecular en España.

Políticas internacionales: Estados Unidos, OEEC y OCDE en el origen de las políticas científicas europeas

El desarrollo científico y técnico contemporáneo alcanzado por los países occidentales y orientales más influyentes, como Estados Unidos, la Europa del Norte y Japón, tiene raíces históricas. Las limitaciones de este trabajo y su pretendida eficacia analítica aconsejan situar una visión retrospectiva en el nuevo orden y en las nuevas tendencias políticas, culturales y sociales que trajo consigo el final de la Segunda Guerra Mundial. En ese orden, España apenas cabía. La dictadura militar que surgió de la Guerra Civil española (1936-1939) había sido expresamente germanófila durante la Segunda Guerra Mundial, guerra que la ciencia y la tecnología habían ganado, en la que los instrumentos (*tools*) –en términos de Headrick (1981) - de los aliados habían sido las bombas atómicas, el radar, el cálculo automático y la penicilina, por citar sólo algunos de los más conocidos. Los países aliados no podían aceptar un régimen como el español entre aquellos que recibirían de forma inmediata y directa las ayudas que el Secretario de Estado

George Marshall propuso y logró aprobar en Capitol Hill para la reconstrucción de Europa. Las opiniones públicas de sus países, extraordinariamente sensibles a los regímenes no democráticos, no hubieran recibido con agrado el establecimiento de relaciones oficiales con España, ni bilaterales ni con las organizaciones internacionales en la inmediata posguerra mundial.

Esa reconstrucción europea, posible gracias a la ayuda de los Estados Unidos, se repartía por medio de políticas. Políticas económicas, industriales y también educativas, científicas y técnicas. La Organización Europea de Cooperación Económica, OECE, se constituyó en 1948 como organismo principal administrador de los fondos de Plan Marshall, por un lado, y diseminador de políticas de inspiración norteamericana, por otro. Se trata de políticas que, en lo que atañe a la ciencia, eran producto del desarrollo científico y técnico experimentado en Estados Unidos a consecuencia del esfuerzo de la guerra (Bush, 1945; King, 1974).

Los intereses de la defensa occidental de los Estados Unidos fueron el primer vehículo de restablecimiento de las relaciones exteriores del gobierno español a través de la firma del primer Acuerdo entre España y Estados Unidos en 1953, cuyas principales consecuencias consistieron en el establecimiento de un conjunto de bases militares de Estados Unidos en territorio español. Ello tendría su contrapartida económica, y también política (Viñas, 1981). En 1955, un convenio firmado en el marco del Acuerdo permite a Estados Unidos vender a España ciertos excedentes agrícolas; un 30 por ciento de los resultados de las ventas se emplearían en proyectos de desarrollo y un 60 por ciento para “gastos” del Gobierno de Estados Unidos en España. De este último porcentaje se recibiría una pequeña cantidad para la creación, en octubre de 1958, de la Comisión de Intercambio Cultural entre España y los Estados Unidos, conocida como Comisión Fulbright. Inicialmente, la Comisión hizo posible la visita de estudiantes de los EEUU a España, y a partir de 1961 benefició también a universitarios españoles que quisieran optar a completar su formación en Estados Unidos (Bela, 1984).

Por su parte, la agenda política de la OECE incluía la promoción de la formación y la investigación científicas y técnicas al menos desde 1949, cuando se produjo el primer documento sobre información científica y técnica. En él se sugería que la innovación científica y técnica tenían poco que ofrecer a la reconstrucción europea a corto plazo; pero, añadía, una década después se convertiría en asunto de la mayor importancia, por lo que se recomendaba dar comienzo inmediato a experiencias de cooperación científica internacional. En 1959, Dana Wilgress, antiguo embajador canadiense en la OECE y en la OTAN, recibió el encargo de realizar un estudio sobre las organizaciones científicas de los Estados miembros. Los informes de Wilgress, emitidos poco antes de que la OECE pasara a ser OCDE con la inclusión de Estados Unidos y Canadá entre sus miembros, ponían de manifiesto la importancia económica de la ciencia y la necesidad de políticas científicas coherentes. Wilgress recomendó que los asuntos científicos se consolidaran al más alto nivel en el seno de la OCDE y la creación de un grupo, con carácter asesor, de política científica formado por científicos. La OCDE nacía así con la ciencia y la tecnología como parte de su agenda política.

El trabajo de la OCDE en este ámbito se concibió en términos políticos, con la intención de influir en los países miembros, más que a través de la puesta en marcha de proyectos concretos (King, 1974). Fue precisamente en la Conferencia Ministerial de la Ciencia celebrada en París en octubre de 1963 cuando se trató de diseminar entre los países miembros las sugerencias de los informes de Wilgress y del emitido posteriormente por una Comisión Consultiva Especial para la

Política Científica presidida por el francés Pierre Piganiol. Su informe *Science and the policy of governments* (1961), conocido como *Informe Piganiol*, proporcionó un punto de partida para la consideración de la política científica en los términos en los que se conocería y practicaría ya en la década de los 70.

Gummet (1992) ha situado el origen de la política científica en periodos previos al de la influencia de la OECE. Es cierto que el informe de Vannevar Bush *Science, the endless frontier* marcó tendencias a seguir, que Inglaterra fue uno de los primeros países en debatir la coordinación de los esfuerzos nacionales en ciencia y tecnología al final de la guerra, y Francia creó comisiones especiales para diseñar un plan para la investigación científica. En el caso de España, la influencia de la OCDE debe considerarse principal. A través de ella ejercerían Estados Unidos y el resto de Europa la influencia en lo que se refiere a ese dominio de la acción política que en España careció, al menos hasta el I Plan de desarrollo económico (1964-1967), de estrategia política y de presupuesto (Sanz-Menéndez, 1997, esp. cap. 4).

Debe considerarse, pues, la citada Conferencia Ministerial sobre la Ciencia de 1963 como punto de partida para el establecimiento de algunas medidas destinadas a la promoción de la investigación científica y técnica en el marco del desarrollo económico. Una vez admitida España en las instituciones de Bretton Woods (el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial), se había diseñado un Plan económico de Estabilización que entró en vigor en 1959 y que dio fin definitivo a la política autárquica y al aislamiento que habían caracterizado a la década de los 40, primera del gobierno de Franco. Esa política española se había visto paulatinamente neutralizada por la recuperación a lo largo de los años 50 de las relaciones diplomáticas con los países occidentales, su entrada en la ONU y un primer acuerdo con la OECE restringido al ámbito agrícola, firmado en 1955 (Moreno, 1998). Hasta entonces, sin embargo, se habían mantenido relaciones comerciales bilaterales con los países de la vecindad geográfica y política, incluso en los periodos del más duro aislamiento internacional, es decir, en plena posguerra (Guirao, 1998).

Manuel Lora-Tamayo, ministro español de Educación Nacional que encabezó la delegación en la Conferencia de París de 1963, cambió la denominación de su departamento, que pasó a llamarse de Educación y Ciencia. Ese mismo año se creó en España una Comisión Delegada (interministerial) del Gobierno de Política Científica, que dependía directamente de la Presidencia del Gobierno, en un momento en el que se ultimaban los preparativos para la puesta en marcha del I Plan de Desarrollo Económico (1964-1967). La Comisaría General del Plan de Desarrollo, que imitaba a su homónima francesa, le Commissariat Général du Plan, dispuso una aportación presupuestaria para la investigación científica y técnica. Las estimaciones más optimistas, sin embargo, valoraron en un 0.2 por ciento del PIB los gastos anuales españoles en I+D en 1963 (Sanz-Menéndez, 1997).

Los documentos emitidos a lo largo de la década de los 60 por la OCDE recomendaron un mínimo apoyo a la actividad investigadora que pudiera hacer posible el progreso científico y la transferencia de tecnología en Europa. Se sugería la conveniencia de concentrar los esfuerzos alrededor de líderes investigadores de prestigio reconocido con el fin de generar centros de excelencia y masa crítica. Los responsables españoles serían sensibles a estas sugerencias, como se verá más adelante, cuando se dieron coyunturas nacionales favorables.

La influencia de los Estados Unidos, ejercida directamente a través de las ciencias biomédicas

Por su parte, los Estados Unidos, dentro de su estrategia de reorganización del sistema de investigación científica y desarrollo tecnológico que había funcionado tan eficazmente durante la Segunda Guerra Mundial, contaba con una agencia del Public Health Service (PHS), los National Institutes of Health, los cuales desde la inmediata posguerra incrementaron su protagonismo, presupuestario y en producción de conocimiento y de recursos humanos expertos en investigación médica en todos los campos. El presupuesto creciente de los NIH puede comprenderse, según Rasmussen (1997), en el interés igualmente creciente de los Estados Unidos por convertir la fuerza de la bomba atómica en “un servicio a la vida”. Las ciencias de la vida, y en concreto la biología, acumularon apoyo político científico, y por lo tanto presupuestario, como una física de la vida (biofísica).

La mayoría de las agencias de los Estados Unidos que disponían de presupuestos para la investigación empezaron a financiar investigaciones que aplicaban las técnicas físicas a los problemas médicos. Del Department of Energy (DOE) a la Office for Naval Research (ONR) pasando por los propios National Institutes of Health, todas ellas contribuyeron a construir la biofísica, que más adelante asumiría el término y los contenidos de la biología molecular, de la genética molecular y, en general, de la investigación biomédica. A su disposición estaban los aparatos recientemente diseñados: la ultracentrífuga, el aparato de electroforesis y el microscopio electrónico empezaron a ser fabricados y vendidos gracias a que hubo desde 1946 presupuesto más que suficiente en los grupos de investigación de Estados Unidos para adquirirlos. Esas ciencias de la vida venían así definidas más en términos de técnicas que de temas de investigación: las herramientas resultaron cruciales. Incluían el uso de isótopos pesados y radiactivos para estudios metabólicos, rayos X y difracción de electrones para el estudio de las estructuras de macromoléculas biológicas, técnicas de cultivos tisulares y celulares, nuevos métodos para la electrofisiología.

La financiación estatal de la investigación científica y técnica que Estados Unidos había puesto en marcha durante la guerra iba a continuar terminada esta e iba a marcar pautas a seguir por los países de su entorno político. La Guerra Fría, primero, y posteriormente el lanzamiento del Sputnik por los soviéticos en 1957 produjo lo que se ha denominado la era dorada de la investigación en Estados Unidos. Pero parece más bien que para entonces el sistema de investigación médica de aquel país estaba ya poderosamente dotado y contaba con un sistema de formación de recursos humanos que reforzó la tendencia al apoyo creciente a las ciencias biomédicas que se había iniciado en la segunda mitad de la década de los 40, cinco años antes de que se logre la aprobación de la National Science Foundation propuesta por el informe Bush (Strickland, 1972).

Ese discurso a favor del uso de técnicas físicas aplicadas a las ciencias biomédicas, que había iniciado con éxito Warren Weaver desde la Fundación Rockefeller en pleno periodo de entreguerras (Abir-Am, 1982; Kay, 1993; Kohler, 1991), afectó no sólo a la biología *molecularizada* sino también a la fisiología, a la neurofisiología y a la electrofisiología.

Las condiciones españolas para la investigación científica en los años 60: el caso de la bioquímica y de la biología molecular

El inicio de la década de los sesenta encontró a la escasa comunidad científica española concentrada en las celebraciones que el premio Nobel de Medicina concedido a Severo Ochoa (1905-1993) habían producido en el país. Nacido y formado en las experimentaciones fisiológicas en España, Ochoa dejó su país natal al comienzo de la Guerra Civil española con el fin de sacar adelante su carrera investigadora. En los años previos a la Segunda Guerra Mundial trabajó junto al ya entonces bioquímico, antes fisiólogo, Otto Meyerhof, en Heidelberg (Alemania) y en Inglaterra, entre otros, junto a Rudolf Peters en Oxford. Cuando los científicos británicos empezaron a dedicarse al esfuerzo científico y técnico para la guerra, Ochoa dejó Europa por Estados Unidos. Pasó dos años en el departamento que Carl y Gerty Cori dirigían en la Washington University School of Medicine (St. Louis, MO, USA) dedicados a la bioquímica enzimática y desde 1942 trabajó en la New York University. Primero como Research Assistant, luego como jefe del Departamento de Farmacología y finalmente como jefe del departamento de Bioquímica, Ochoa permaneció en la NYU hasta su jubilación en 1974. Posteriormente, se trasladó al Instituto Roche de Biología Molecular en Nutley (New Jersey) y en 1985 volvió a España para instalarse definitivamente en Madrid.

Su área de especialización, la bioquímica enzimática, permitió a Ochoa en colaboración con su estudiante postdoctoral francesa Marianne Grunberg-Manago, describir en 1955 un nuevo enzima de polimerización de nucleósidos, la polinucleótidos fosforilasa (PNPasa) que permitía obtener polímeros muy semejantes al ácido ribonucleico (ARN). Por ello le concedieron a Ochoa el Nobel de Medicina en 1959, cuando ya era uno de los bioquímicos más distinguidos y respetados de los Estados Unidos – tenía la ciudadanía estadounidense desde 1956. Ese enzima fue una de las principales herramientas experimentales que permitieron al grupo dirigido por Marshall Nirenberg en los National Institutes of Health (Bethesda, Maryland) y al propio grupo de Ochoa contribuir al desciframiento del código genético – a determinar los tripletes de bases del ADN que son responsables de la síntesis de cada uno de los 20 aminoácidos conocidos que forman las proteínas. Y aunque la PNPasa resultó inactiva *in vivo*, es decir, no era responsable de la síntesis del ARN en la célula sino más bien de su disociación, ese enzima permitió a Ochoa trasladar sus intereses de la bioquímica a la biología molecular y desde los años 60 realizar contribuciones influyentes al conocimiento del código genético y de la biosíntesis de proteínas.

En 1960, muy pocos de los jóvenes científicos, hombres y mujeres, que se estaban dedicando a la bioquímica habían aún vuelto a España de los lugares de Estados Unidos, Gran Bretaña y otros países del norte de Europa donde completaban su formación postdoctoral. Pero los que habían vuelto o estaban a punto de volver fueron suficientes como para justificar la organización de una primera reunión Bioquímica en España, que se celebró bajo la presidencia de Severo Ochoa en 1961. Desde entonces, Ochoa estaría muy cerca y seguiría atentamente los desarrollos de las investigaciones bioquímicas que se realizaran en España y apoyó explícitamente a algunos de los jóvenes que trataban de organizar esas investigaciones y de crear, como hicieron finalmente en 1963, una Sociedad Española de Bioquímica (Santesmases y Muñoz, 1997).

La creación de esa nueva Sociedad contaba con el apoyo de las autoridades del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, donde trabajaba la mayor parte de sus primeros socios. El CSIC había sido creado recién terminada la Guerra Civil para promover y coordinar la investigación

científica y técnica en España. Dirigido casi como si fuera una empresa familiar por el secretario general, el sacerdote José María Albareda, éste promocionó la bioquímica por ser un área directamente relacionada con sus intereses científicos. Albareda, químico dedicado a la docencia de la mineralogía y de las ciencias del suelo en la Universidad de Madrid, conservó su puesto de secretario general hasta que murió en 1966. El ministro de Educación, Manuel Lora-Tamayo, él mismo catedrático de Química Orgánica, tomó parte en el evento de creación de la Sociedad y pronunció una de las conferencias plenarias en julio de 1963, pocos meses antes de trasladarse a París para asistir a la citada conferencia internacional de ministros por la ciencia auspiciada por la OCDE.

Ochoa era ya entonces una personalidad científica públicamente reconocida en España. Todas sus vistas al país se recogían en la prensa, aunque algunas de ellas fueran de carácter exclusivamente privado y de descanso. Y pocos eran los que conocían o comprendían sus investigaciones. Pero desde 1961 señaló a un joven médico dedicado a las investigaciones bioquímicas de los enzimas del metabolismo –una de las áreas de especialización del propio Ochoa, en la que había cosechado grandes éxitos como bioquímico- como uno de los investigadores más prometedores. Alberto Sols (1907-1989) y un conjunto de colegas que compartían con él la intención de lograr un mayor protagonismo para la bioquímica en España generaron un consenso de carácter político científico que hizo de esta disciplina científica experimental una de las que más se desarrolló en España durante la década de los sesenta. A lo largo de esa década, los bioquímicos españoles tomaron parte en todo tipo de encuentros científicos internacionales dedicados a la bioquímica: congresos, comités organizativos y consejos editoriales de revistas.

Las tendencias internacionales en biología molecular y su influencia en España

Mientras tanto, la comunidad experta internacional permanecía alerta, atenta a los resultados de nuevas experimentaciones: la biología molecular había logrado atraer la atención de la comunidad científica y estaba logrando lo propio de las autoridades de la política científica de los países europeos. En 1962, los Nobel de Medicina y de Química se repartieron entre cinco muy distinguidos y ya famosos autodenominados biólogos moleculares: Max Perutz, y John Kendrew (por sus contribuciones al conocimiento de la estructura de las proteínas) y James D. Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins (por su contribución al conocimiento de la estructura del ADN). Los cinco se reunieron en Estocolmo para celebrar junto a la Academia Sueca la puesta en escena internacional del primer gran acto de reconocimiento científico público a la biología molecular. Pueden revisarse los Nobel de medicina y de química concedidos desde ese año y se comprueba que una buena parte ha sido logrado por científicos dedicados a las ciencias biológicas y biomédicas *molecularizadas*, esas que han hecho de los ácidos nucleicos las moléculas magistrales (*master molecules*) directoras de la actividad celular.

Con ayuda norteamericana se había puesto en marcha un centro de investigación dedicado a la biología molecular en Ravello, cerca de Nápoles. Eran los años en los que Ochoa completaba, en una carrera sin descanso con el grupo de Marshall Nirenberg, sus investigaciones sobre el código genético. A pesar de que investigaba sobre ello desde 1961, y llevaba desde 1955 trabajando sobre la función de la PNPasa en la síntesis de ARN, sin embargo las conferencias dictadas por Ochoa en España no trataron sobre biología molecular hasta 1963 cuando clausuró la segunda reunión bioquímica con una ponencia titulada “La clave genética”. No había entre el público

científico ningún biólogo molecular, ni tampoco genetistas, aunque todos los asistentes se convirtieron en diseminadores de las nuevas investigaciones de Ochoa, quien estaba conservando su protagonismo científico al introducirse en la biología.

Las técnicas que estaban definiendo a la biología molecular en los países más influyentes se convirtieron en requisito tecnológico para su desarrollo en España. Hay que buscar en la tecnología disponible en los centros españoles de investigación algunas de las explicaciones sobre las dificultades de una completa puesta al día de las experimentaciones que tanto en bioquímica como en biología molecular se hicieron o empezaron a hacerse en el país. Un distinguido centro de investigación madrileño, el Centro de Investigaciones Biológicas, si bien contó desde mediados de los años 1960s con dotaciones técnicas actualizadas, como una ultracentrífuga, aparato de electroforesis y dispositivo para el estudio de los procesos bioquímicos por marcaje isotópico, se trataba de un solo aparato, en el mejor de los casos, para todo un centro de más de cien personas.

Las técnicas estuvieron disponibles y los científicos empleaban en obtenerlas una buena parte del esfuerzo que pudieron haber dedicado a las propias investigaciones. Pero eran escasas, había listas de espera para su uso y esas complicaciones derivadas de una infraestructura incompleta deben considerarse una de las razones por las cuales la comunidad científica dedicada a la bioquímica y a la biología molecular no podía producir el mismo conocimiento biológico ni de manera tan rápida como los centros extranjeros que les servían de referencia y a los que trataban de emular. Estos requisitos tecnológicos de alto coste, aunque se refieren a medios técnicos de tamaño pequeño o mediano, remiten de nuevo al problema de la introducción de la política científica y técnica en su función principal de adscripción de recursos económicos para la investigación. Si la influencia internacional fue determinante en el origen de la política científica española, las limitaciones de la política económica e industrial nacional tuvieron su papel al asignar al desarrollo científico y tecnológico una función secundaria en el desarrollo económico, cuando realmente se les asignó alguna, lo que se expresaba en forma de presupuestos muy limitados, escasos, para ese dominio de la acción política pública.

En 1964 se fundó en Suiza la Organización Europea de Biología Molecular (EMBO) como organización privada, no lucrativa y sujeta al derecho suizo. Si el objetivo inicial de los biólogos moleculares que la impulsaron había sido la creación de un gran laboratorio europeo que frenara la “fuga de cerebros” europeos a los Estados Unidos, donde las condiciones para la investigación eran más favorables que en Europa, aquel objetivo era demasiado ambicioso para los recursos disponibles, la biología no había generado todavía consenso político suficiente como para atraer la necesaria atención de la política científica de los estados europeos. Aunque desde las organizaciones internacionales se promoviera la cooperación científica internacional – ya se ha visto que así era en el caso de la OCDE, y lo estaba siendo también en lo que atañe a la biología desde Unesco y desde el Consejo de Europa- , los recursos políticos y económicos no estuvieron disponibles para el proyecto de laboratorio hasta la década siguiente. El precedente de objetivo comparable había sido el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN), provisto de inmensas dotaciones técnicas presididas por el gran acelerador construido a las afueras de Ginebra y creado en los años 50 con el apoyo de UNESCO, cuando aún la política científica en los países europeos no se había constituido como política pública provista de un discurso poderoso y eficaz que la conectaba con el desarrollo tecnológico e industrial de las naciones como lo sería desde los años 60.

Así, EMBO surgió en plena expansión de la influencia de la OCDE en el establecimiento de políticas públicas nacionales. Los científicos ya no eran libres de representarse a sí mismos en las reuniones internacionales como había ocurrido durante las negociaciones que condujeron a la aprobación del CERN (Pestre y Krige, 1992), pues la puesta en marcha de políticas científicas y técnicas nacionales a instancias de las propuestas y los informes emitidos por la OCDE habían creado un espacio político del que los científicos podían formar parte pero del que no eran principales responsables: la política científica tenía rango ministerial, aunque no fueran siempre ministerios dedicados exclusivamente a la ciencia sino generalmente asociados a la educación o a la industria. Los primeros miembros de EMBO impulsaron la organización a través, fundamentalmente, de su propio prestigio científico, hasta 1969 cuando se aprobó que fuera financiada por los Estados miembros, las mismas naciones que ya eran miembros del CERN.

Desde su creación, los científicos miembros de EMBO como colectivo científicamente muy distinguido habían obtenido entre 1964 y 1968 financiación privada para sus actividades, fundamentalmente de la Fundación Volkswagen. Pero no consiguieron por méritos propios el presupuesto para un gran laboratorio de biología molecular europeo. Tampoco era fácil lograr para la biología molecular la consideración de *big science* que hubiera justificado un gasto compartido de costosas instalaciones técnicas. Los aparatos técnicos de los laboratorios de la biología molecular eran de tamaño diminuto comparado con el acelerador de partículas europeo. Pero el discurso sobre la nueva biología, sobre la ciencia de las estructuras macromoleculares y los experimentos que descubrían el *secreto de la vida* estaba en plena diseminación activa. Una biología que marcaba distancias respecto a la bioquímica, cuyos portavoces, presididos por John Kendrew, protagonizaron debates con los bioquímicos sobre qué *nueva* ciencia era esa que tanto se parecía, según el prestigioso bioquímico de Oxford nacido en Alemania Hans Krebs, a la bioquímica (Abir-Am, 1992a y 1992b).

Paradójicamente, el año de la creación de EMBO en Suiza es el mismo año en el que se crea la Federación Europea de Sociedades de Bioquímica (FEBS) en Londres, cuando la bioquímica llevaba ya medio siglo aceptada como disciplina independiente de la fisiología en los países más influyentes, como Estados Unidos y Gran Bretaña (Kohler, 1982). Dos años después, en 1966 Kendrew emitió su informe sobre la conveniencia de promover la biología molecular en Gran Bretaña y Krebs, actuando de portavoz de la Biochemical Society británica, le contestó airadamente afirmando que la biología molecular era en realidad bioquímica.

En 1966 comenzó a circular entre un grupo restringido de bioquímicos españoles un documento en el que se proponía la creación de una “Escuela postgraduada de biología molecular” que Ochoa debía dirigir. Los bioquímicos fueron los primeros impulsores de esta propuesta, cuando los primeros biólogos moleculares españoles formados en la NYU con Severo Ochoa unos, y en Cambridge, en Londres y en Harvard otros, estaban apenas volviendo del extranjero dispuestos a introducir en España los métodos y los saberes de la nueva biología. Ya estaba en marcha el I Plan de Desarrollo Económico, que había sido generoso con la bioquímica española, especialmente si se tienen en cuenta los escasos recursos económicos que se destinaron a la investigación científica y técnica en España en aquellos años del 0,2 por ciento del PIB. Y Ochoa seguía siendo el principal apoyo internacional a la bioquímica que se investigaba en España, mientras presidía la International Union of Biochemistry (IUB) entre 1961 y 1967.

Ese primer proyecto de una escuela posgraduada de biología molecular para España debe relacionarse, por un lado, con la diseminación a través de los grupos de investigación europeos dedicados a las ciencias biológicas y biomédicas del valor que se estaba adjudicando a la biología molecular. Pero además estaba a la vista el modelo de transición desde la bioquímica a esta biología molecular que Ochoa había protagonizado. Los bioquímicos españoles pudieron ser especialmente sensibles a ese trayecto que su más querido y admirado líder científico había hecho. Puede sugerirse que pensaron en protagonizar un tránsito disciplinar semejante, sin las crisis que se estaban produciendo a la sazón en Gran Bretaña.

Sin embargo, tan pronto como los propiamente formados en biología molecular volvieron a España y se instalaron en laboratorios de Barcelona y de Madrid, tomaron el relevo en el protagonismo de promoción de nuevos laboratorios dedicados a esa biología que tantos éxitos internacionales estaba cosechando. Con el apoyo de Ochoa y sin tensiones explícitas, David Vázquez, Margarita Salas y Eladio Viñuela serían algunos de los principales apoyos científicos para el nuevo centro, combinados en comités organizativos con algunos jefes de grupos dedicados a la bioquímica, como Carlos Asensio, Julio Rodríguez Villanueva y Federico Mayor, por citar sólo algunos de ellos. Otro centro se proyectó para Barcelona, con el apoyo de Juan Oró, profesor de Bioquímica y Biofísica de la Universidad de Houston, y el del biólogo molecular catalán Jaume Palau, formado en Londres en técnicas de estudio de estructura e interacciones del ADN.

El nuevo centro de Barcelona, denominado Instituto de Biología Fundamental, se aprobó en 1970 y se instaló temporalmente en unos prefabricados junto a un hospital universitario. El Centro de Biología Molecular previsto para Madrid se demoró unos años. Para cuando fue a inaugurarse en 1975, Ochoa casi había perdido el interés por volver a España, aunque lo inauguró personalmente como parte del programa de un congreso internacional celebrado entre Madrid y Barcelona en homenaje a su 70 cumpleaños, en el que participaron amigos y colegas de Ochoa, entre ellos una docena de premios Nobel. Gracias a una cuantiosa ayuda de la National Science Foundation, los investigadores del CBM contaron con medios técnicos sin precedentes en los laboratorios españoles del área, en cantidad y en calidad suficiente para los tiempos que corrían, y que les mantuvieron extraordinariamente cerca del *mainstream*. Las ayudas de los Estados Unidos deben relacionarse con el entonces renovado acuerdo bilateral de ese país con España, que mantenía su carácter esencialmente militar, y por lo tanto, las instalaciones militares estadounidenses en suelo español.

El apoyo político científico español para la creación de esos nuevos centros de investigación procedió de José Luis Villar Palasí, ministro de Educación y Ciencia entre 1968 y 1972, muy cercano a las ciencias biomédicas. Sus hermanos Carlos Villar y Vicente Villar estaban dedicados a la bioquímica; el primero trabajaba entonces en el laboratorio de Joseph Larner en Cleveland (EE.UU.) y el segundo era profesor de Bioquímica de la Facultad de Farmacia de Barcelona. Ochoa y los grupos de investigación que se mantuvieron en contacto con él generaron el consenso aquel susceptible de concentrar esfuerzos a través de figuras científicas de prestigio que la OCDE había recomendado. Fue una coyuntura política nacional la que hizo posible la influencia de las sugerencias de la OCDE al respecto con el apoyo adicional, cuantioso para los medios económicos que España dedicaba a la investigación, de la National Science Foundation.

La presencia física permanente de Ochoa –que no volvió definitivamente a España hasta 1985 - resultaría, finalmente, prescindible, cuando bioquímica y biología molecular eran ya, a partir de mediados de los años 70 áreas de experimentación que habían alcanzado un consenso académico y político en España que no disminuiría. La alta figura de Ochoa acompañaba a su peso científico, a su influencia. Inspirados por sus logros, amparados en ellos, los bioquímicos y los biólogos moleculares españoles lograron el protagonismo académico de la investigación biomédica que no haría más que crecer (Santesmases, 2000). Todos ellos se habían colocado, por su trabajo investigador y sus estrategias de legitimación académica, extraordinariamente cerca de los nodos más influyentes de las redes de intercambio de reconocimiento de las investigaciones biomédicas contemporáneas.

La tardía creación de una Sociedad Española de Bioquímica, recuérdese que tuvo lugar en 1963, no repercutió en un retraso correspondiente en la introducción de la biología molecular en España. Si las primeras sociedades bioquímicas se habían creado en las primeras décadas del siglo XX, poco después de la creación de las revistas alemanas (*Biochemische Zeitschrift*), de los EE.UU. (*Journal of Biological Chemistry*), británica (*Biochemical Journal*), o francés (*Journal de Chimie Biologique*) (Kohler, 1982), la introducción de la bioquímica en España, que tuvo algunos modestos aunque influyentes intentos en los años 30, se produce de forma irreversible a partir de los años 50, sin revista alguna. La SEB reconoció explícitamente su intención de fomentar la participación de los bioquímicos españoles en esas revistas extranjeras de prestigio estable y reconocido. Aquello fue una marca de salida, pues reconocía explícitamente la superioridad extranjera y las dificultades prácticas de que una revista española de bioquímica alcanzara el reconocimiento que aquellas otras previas habían logrado. Al mismo tiempo, la medida sugiere un intento de obviar la españolidad, de que las contribuciones a la bioquímica hechas desde España llegaran a confundirse con aquellas otras realizadas desde laboratorio más importantes y mejor dotados: los extranjeros.

La conciencia del atraso científico es profunda en el caso de los bioquímicos y generó estímulos suficientes como para lograr que en la década de los 60 la producción de los laboratorios bioquímicos españoles estuviera a la altura de las circunstancias, al día y atendiendo a problemas considerados relevantes por los prestigiosos bioquímicos que formaban parte de los consejos editoriales de las revistas a cuya consideración sometían sus trabajos. Otro asunto era la actualización técnica, que aún se demoraría hasta mediados de los años 70. Si las ayudas de la National Science Foundation de los Estados Unidos fueron fundamentales para el equipamiento técnico de muchos grupos de investigación dedicados a la biología básica, la política científica española también trató de hacer un esfuerzo especial en ello y muchos laboratorios recibieron ayudas especiales para infraestructura cuando Federico Mayor Zaragoza, profesor de Bioquímica de la Universidad de Madrid, era a la sazón subsecretario del ministerio de Educación y Ciencia. En 1975 había en los laboratorios del CSIC varias ultracentrífugas, aparatos de electroforesis y algún contador de centelleo para detección de isótopos radiactivos adquiridos con cargo al Fondo Nacional para el Desarrollo de la Investigación Científica y Técnica.

Pero conviene conservar la perspectiva comparada. Debe recordarse que desde 1953 el grupo dirigido por Paul Zamecnik en el Huntington Memorial Hospital de Boston (EE.UU.) poseía un equipo completo de ultracentrífuga y equipamiento de detección de isótopos radiactivos en aminoácidos, lo que les permitió la puesta a punto de un sistema experimental de síntesis de proteínas *in vitro* que se convirtió en usual en todos los laboratorios dedicados a la biología

molecular (Rheinberger, 1997). Se trata, por lo tanto, de dos décadas de distancia. Y se trata, otra vez, de que los grupos españoles siguieron el camino marcado por esos laboratorios biológicos y biomédicos de éxito.

Una dependencia doble

La dependencia de la comunidad científica española y de sus responsables políticos respecto a los países más desarrollados era doble: tecnológica y científica. Ni los dispositivos técnicos se diseñaban ni se construían en España, ni los conocimientos ni las líneas de investigación se planteaban en la comunidad científica española. Existía, además, una dependencia de la trayectoria: había que seguir los pasos marcados por otros. Ambas dependencias combinadas crearon el contexto en el que la introducción de los grupos científicos en el *mainstream*, en el centro (*core*) de las investigaciones biológicas y biomédicas estaba doblemente dificultada. No parecía ser posible, y resulta difícil incluso en una visión retrospectiva, diseñar una vía al desarrollo logrado por otros distinta de aquella que consiste en seguir el camino ya marcado por países influyentes, cuando el desafío consiste precisamente en alcanzar los logros de sus comunidades científicas.

Las propias políticas científicas, sus normas y valoraciones, sus criterios a la hora de distribuir recursos, de evaluar esa distribución, siguieron el mismo camino. No se trataba, ni se trata, de un destino fatal de la ciencia de lo que puede denominarse la periferia europea o semiperiferia, sino de la poderosa influencia que el liderazgo político, científico y tecnológico, extranjero siempre ha ejercido en España desde el fin de la Segunda Guerra Mundial. La evaluación de la política científica española se produce desde hace muy pocos años y la prospectiva está en pleno nacimiento, cuando ambos -evaluación y prospectiva- se habían convertido en herramientas para los políticos de la ciencia europeos y norteamericanos desde la crisis de los 70.

En 1967 pronunció Ochoa el primer curso de biología molecular que dio en España. Cinco sesiones vespertinas organizadas por el círculo liberal de la Sociedad de Estudios y Publicaciones en las que puso a la audiencia al día sobre el conocimiento disponible de la biología molecular. El público que abarrotaba la sala difícilmente estaba preparado para comprender sobre la marcha el enorme número de datos y detalles experimentales que Ochoa manejó ante los asistentes. La prensa recogió resúmenes de las conferencias diarias. Debe considerarse, sin embargo, que el curso contribuyó a ampliar el concepto de biología hacia una ciencia experimental más básica, que se alejaba de la idea entonces prevalente de biología como ciencia natural (estudio de microorganismos, plantas y animales).

Así pues, Ochoa contribuyó, de múltiples maneras, a mantener en España la visibilidad académica, pero también la pública, de la bioquímica y de la biología molecular. Todo lo cual benefició a esas disciplinas y a sus experimentadores. Una vez preparados para realizar experimentos comparables a los que se hacían en los laboratorios extranjeros donde habían completado su formación científica, empezaron a poner en práctica sus propios proyectos en España. Para ello tuvieron muy en cuenta las dificultades técnicas y económicas. Sabían que no podían competir con esos laboratorios extranjeros y en la mayoría de los casos, siguiendo el ejemplo de los bioquímicos españoles con los que se habían formado previamente, optaron por líneas de investigación sencillas aunque novedosas en el panorama científico español, que les permitieran formar a jóvenes investigadores en las nuevas técnicas de la biología molecular sin

competir con los laboratorios extranjeros en los que se habían formado. El caso del grupo de Margarita Salas y Eladio Viñuela ilustra bien este tipo de estrategia, que les permitió no sólo crear escuela sino obtener resultados que les proporcionaron reconocimiento internacional en los primeros años 70 en sus estudios sobre la genética molecular del fago ϕ 29 de la bacteria *B. subtilis* junto a sus jóvenes colaboradores Jesús Ávila y José Manuel Hermoso.

Varios centros dedicados a la biología básica cuentan hoy en España con prestigio reconocido por su alta productividad y por los medios de que disponen. Aún lejos de los grandes laboratorios europeos y norteamericanos, los centros españoles están manteniendo, en la mayoría de los temas de investigación más competitivos, una productividad que crece a mayor velocidad que la de los centros a los que tratan de emular. Aún así, no se ha visto en ningún listado reciente de los que elaboran las revistas científicas más prestigiosas a ninguno de esos centros que han hecho de España un participante muy interesante en la producción de conocimiento biológico, atenta su comunidad científica a las tendencias más influyentes del mundo investigador más desarrollado. Volviendo al pasado reciente en busca de explicaciones debe recordarse que la crisis económica de los 70 supuso un parón en lo que a principios de esa década parecía que iba a ser una creciente participación de la comunidad científica española dedicada a la biología en los temas más famosos y prestigiosos de la investigación biológica básica. A partir de los años 80, la comunidad volvió a recuperarse mientras se renovaban, desde finales de la década anterior, las políticas a favor de un mayor desarrollo científico y tecnológico para España y se redefinían los mecanismos de adscripción de recursos para la investigación, se dotaban comités especializados por área y quedaban establecidas normas para lograr financiación estatal para proyectos de investigación (Sanz-Menéndez, 1997).

Los informes sobre la producción científica española empezaron a ser optimistas desde mediados de los 80, cuando parecía que la investigación científica y técnica entraba a formar parte de la agenda política y a crecer los presupuestos que se le destinaron. En ese tiempo, la producción científica de los países más influyentes era muy superior, aunque creciera más lentamente y la distancia de la producción española respecto a aquella apenas pudo mantenerse, cuando no se agrandó.

La tendencia de la política científica española actual consiste en mantener las ciencias biológicas y biomédicas como principales áreas a promover directamente por medio de la financiación estatal a proyectos de investigación. Así se recoge en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2000-2003) – sólo las telecomunicaciones la superan en previsión del gasto público en investigación para el año 2000. La introducción de medidas que tratan al mismo tiempo de promover la participación privada en la vida científica y tecnológica española ha cosechado algunos éxitos aislados aunque muy distinguidos. Existe la duda, sin embargo, entre la comunidad experta de si esas medidas de participación privada dotarán al sistema público de investigación de los medios adecuados a sus necesidades, medios que permitan elevar el nivel de competencia de la comunidad científica y darle un mayor protagonismo internacional, en un país que carece de una industria propia interesada en los resultados científicos de los centros públicos. Un estudio reciente (Muñoz et al, 1999) sobre las industrias españolas dedicadas a la biotecnología ofrece datos contradictorios y poco alentadores. El número de empresas que se dedican a la investigación y al desarrollo es bastante reducido, en algunos casos se trata de filiales de carácter comercial que realizan nula o muy escasa investigación, las cuales, cuando lo hacen, es siguiendo directrices de los grandes centros de

investigación que las empresas multinacionales correspondientes poseen en los países donde están sus oficinas centrales. En otros casos, se trata de empresas nacionales que luchan con enorme esfuerzo por encontrar y mantener nichos específicos que no compitan con las multinacionales. La Comunidad Europea, y su Programa Marco dedicado a la ciencia y a la tecnología financia proyectos de cooperación científica y está contribuyendo a estabilizar el prestigio de muchos de los más productivos e influyentes investigadores españoles. Pero las dificultades para lograr un mayor protagonismo internacional se mantienen.

Sobre el logro de un mayor protagonismo internacional conviene hacer algunas matizaciones. Desde Merton se conocen bien las formas de expresión del efecto que él mismo denominó efecto Mateo, por el cual el desarrollo científico proporciona más prestigio a aquéllos y aquéllas que más prestigio tenían previamente. Los listados sobre centros prestigiosos y relevantes se hacen fuera de las fronteras españolas, por revistas que, en su mayoría, carecen de asesores editoriales españoles. Acceder a los centros donde tiene lugar el reparto de prestigio resulta imprescindible. No basta hacer investigación original, competir por publicar en las revistas que gozan de la más alta consideración. Para acceder a esos centros de decisión, es necesario el apoyo político del gobierno, según algunos científicos consultados. Los méritos propios, como ocurrió con el proceso que condujo a la creación del EMBL, no son suficientes. Complejas negociaciones políticas en las que la comunidad científica debe involucrarse parecen haber sido la base a partir de la cual se han construido el prestigio de algunos de los laboratorios europeos más distinguidos, pertenecientes a países con una larga historia moderna y contemporánea de influencia política internacional (Solingen, 1993).

La biología molecular prosperó de manera muy significativa en Francia cuando el propio Jacques Monod formaba parte del grupo de expertos encargados de diseñar la política científica francesa en los años 60 (De Chadarevian and Gaudillière, 1996). John Kendrew, uno de los más eficaces portavoces de la biología molecular en Gran Bretaña y en Europa trabajó para el Medical Research Council británico e influyó decisivamente en el apoyo público a la biología molecular en Gran Bretaña (De Chadarevian, 1997). Y en el caso de España, los momentos más prometedores y exitosos se corresponden con aquellos en los que tuvieron lugar complejas negociaciones entre científicos y responsables políticos para el diseño de nuevos centros de investigación, negociaciones que incluían la celebración de congresos internacionales en España, como fue el que la FEBS celebró en Madrid en 1969 y que la comunidad dedicada a la bioquímica y a la biología molecular aprovechó para reunir a científicos con el ministro de Educación y Ciencia y lograr de su parte un compromiso explícito de fomento de esas áreas en las universidades y en los centros de investigación y en la creación de nuevos centros, con la figura de Ochoa como referente principal de lo que un científico nacido en España y dotado de medios adecuados podía lograr (Santemas, 2000). Ese tipo de actividades político-científicas movilizan recursos económicos y humanos y generan expectativas científicas susceptibles de obtener financiación en forma de proyectos de investigación acordes a ellas.

Tabla cronológica

1939	-Fin de la Guerra Civil Española -Creación del CSIC	
1945		Fin de la Segunda Guerra Mundial
1948		Creación de la OECE
1949		Creación del OECE Working group n° 3 for

		scientific and technical information
1952		Creación de la European Productivity Agency
1953	-Firma acuerdos España-EE.UU. de defensa	Creación de la International Union of Biochemistry (IUB)
1955	-España, miembro de IUB -España, aceptada en la ONU	
1958	-Admisión de España en el BM y en el FMI -Creación de la CAICYT	
1959	-Admisión de España en la OECE -Severo Ochoa, Premio Nobel de Medicina	
1961		-Creación de la OCDE y dentro de ella del Committee for Scientific Research. Informe Piganiol (Pub. París, 1963). -Ochoa, chairman de IUB
1963	-Creación de la Comisión delegada del Gobierno de Política Científica -Creación de la Sociedad Española de Bioquímica	Conferencia ministerial sobre la Ciencia, París, octubre
1964	-Creación del Fondo Nacional para la Investigación Científica	-Creación de la European Molecular Biology Organisation (EMBO) -Creación de la Federation of European Biochemical Societies (FEBS)
1968	-Inicio de contactos oficiales con Ochoa para su vuelta a España. -Política de recuperación de “cerebros emigrados”	
1969	Sixth FEBS Meeting, Madrid, abril	Creación de la European Conference of Molecular Biology (ECMB)
1970	Creación del Instituto de Biología Fundamental, Barcelona	Aprobación del European Molecular Biology Laboratory (EMBL)
1975	Creación del Centro de Biología Molecular “Severo Ochoa”, Madrid	

Cerca y lejos

Como sugiere Mokyr (1990), el progreso tecnológico es frágil y vulnerable, y no sólo depende del medio adecuado; es sumamente sensible al ambiente social y económico, y puede ser fácilmente interrumpido por pequeños cambios externos. Esta afirmación parece especialmente cierta en lo que se refiere a países menos poderosos que los más influyentes, aquéllos que no pudieron conservar su protagonismo y lo que Mokyr llama progreso durante más tiempo.

Desde el fin de la Segunda Guerra Mundial las tendencias en producción de conocimiento y en la política científica han recogido las influencias de los Estados Unidos, el éxito de cuya política tecnológica durante la guerra le convirtió en modelo a seguir, incluso a pesar de que, como dijo Vannevar Bush (1945) en su célebre informe sobre aquella frontera sin fin, esa política consistió en aplicar la ciencia hecha en Europa – la penicilina, el radar, y la propia bomba atómica. Una Europa exhausta y deprimida moral y económicamente se levantó gracias a las ayudas del Plan

Marshall. Y la oficina que distribuyó aquellos fondos para el desarrollo, la OECE, marcó pautas en políticas públicas.

El documento de Bush elevó a la ciencia básica, la convirtió en elemento esencial del desarrollo económico hasta la crisis de los 70. La súbita subida de los precios del petróleo, esa conciencia de los países ricos en crudo pero apenas en vías de desarrollo convertida en crisis económica para el mundo desarrollado, trajo consigo la primera evaluación de la inversión realizada en ciencia y tecnología desde el fin de la guerra. Harvey Brooks, que había tomado parte en los primeros informes sobre los recursos de los países miembros de la OCDE para la ciencia y la técnica desde los años 60, se preguntaba en 1978 por los logros de las investigaciones biomédicas, cuya ciencia básica aún no había cumplido la promesa de ofrecer la cura, o el tratamiento de alguna de las enfermedades tras cuyos nombres se construían proyectos de investigación financiados por las agencias norteamericanas.

Cuando los expertos en política científica de la OCDE, entre los más distinguidos uno de los contribuyentes a este volumen del ISSJ, Jean-Jacques Salomon, influían en la puesta en marcha y en el diseño de políticas nacionales, ellos estaban marcando pautas, un camino a seguir hacia el desarrollo. Para los países europeos, y en general para el Occidente más acá de la línea Este europea, ese era el camino. Podía irse a la zaga, con mayor o menor retraso, pero había unas pautas. Fortalecer las alianzas políticas y económicas de España con el Norte de Europa y de América, llevaba consigo dejarse guiar por las políticas que esos países habían puesto en marcha. Occidente estableció las normas y seguirlas ha sido una consecuencia aparentemente lógica de pertenecer al club del desarrollo. Se ha considerado que los países rezagados optaban al desarrollo científico con la ventaja de conocer los efectos de políticas previas (Jean-Jacques Salomon, comunicación personal). Sin embargo, más bien ha resultado que las organizaciones aprenden a través de sus propias estrategias y políticas, y en mucha menor medida a través de los éxitos y los fracasos de las estrategias y las políticas ajenas.

Las primeras prioridades en política científica en España se aprobaron a mediados de los años 80, una década después de los primeros ejercicios de evaluación en los países más desarrollados. No podían quemarse etapas, probablemente porque unos presupuestos muy escasos para la investigación y el desarrollo tecnológico lo impedían en el marco más general de una limitada política industrial. No pueden diseñarse ni construirse consensos entre autoridades políticas y comunidades científicas con presupuestos exigüos. Una cultura de la política científica estaba experimentando una poderosa expansión, y los resultados en los países más desarrollados resultaban extraordinariamente cautivadores. En el caso de la biología molecular, los experimentos de ADN recombinante, que habían quebrado las barreras naturales entre especies desde los primeros años de la década de los 70 (Wright, 1996), habían cautivado la imaginación, la privada y la pública, la industrial y la científica, la cultural y la política. Desde entonces se habla con énfasis de la próxima cura de enfermedades por ingeniería genética. Si la vacunas y algunos fármacos han optimizado su síntesis en algunos casos por ese mecanismo recombinante, la terapéutica, sin embargo, tiene logros pendientes. Pero el discurso a favor de la ciencia básica se ha mantenido intensa, poderosa, influyentemente (por ejemplo, Baltimore 1978).

El discurso oficial sobre el hecho de que el esfuerzo científico técnico realizado por los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial consistió precisamente en aplicar la ciencia básica hecha en Europa se ha convertido en una generalización. Es decir, la comunidad científica suele

defender que cualquier desarrollo tecnológico o industrial está precedido por la experimentación de tipo básico, con el fin exclusivo de aumentar el conocimiento científico. La ciencia básica resulta, desde el punto de vista de la comunidad científica, sólidamente apoyada en una experiencia histórica, imprescindible para el desarrollo. Todo lo cual, en el caso de España, contribuye a mantener la dependencia exterior, que no es sólo tecnológica o científica: es política. Fue una cultura de la política científica y de lo que debía ser y caracterizar al desarrollo científico lo que estaba en plena expansión. Puede sugerirse que la tendencia es que ese tipo de dependencias se mantengan o aumenten. En el caso de las investigaciones biomédicas españolas, más bien parecen aumentar.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin una larga conversación con Jean-Jacques Salomon en 1997, en la que aprendí sobre historia de la política científica europea mucho más de lo que cualquier libro pueda contar. Estoy en deuda también con Alexander King, que aceptó recibirme en su casa de Londres. Agradezco los comentarios y las sugerencias de Hebe Vessuri y de Emilio Muñoz.

Referencias

ABIR-AM, P.G. 1982. "The discourse of physical power and biological knowledge in the 1930s: a reappraisal of the Rockefeller Foundation policy in molecular biology", *Social Studies of Science* 12, 225-263. (Respuestas a Abir-Am de John Fuerst, Ditta Bartels, Robert Olby and E.J. Yoxen, *Social Studies of Science* 14, 225-263).

ABIR-AM, Pnina G. 1992 a. "From multidisciplinary collaboration to transnational objectivity: International space as constitutive of Molecular Biology", en E. Crawford, T. Shinn y S. Sörlin (eds.)(1992): *Denationalizing Science: the Context of International Scientific Practice, Sociology of Science Yearbook 16*. Dordrecht, Reidel, pp. 153-186.

ABIR-AM, Pnina G. 1992 b. "The politics of macromolecules: molecular biologists, biochemists and rhetoric." *Osiris* 7: 164-191.

BALTIMORE, D. 1978. "Limiting science. a biologist's perspective." *Daedalus* (Spring 1978) 37-45.

BELA, R. 1984. "El intercambio cultural entre España y Estados Unidos de 1953 a 1982", en *Influencia norteamericana en el desarrollo científico español* (Madrid: Asociación Cultural Hispano Norteamericana), 7-17.

BROOKS, H. 1978. "The problem of research priorities." *Daedalus* (Spring, 1978): 171-190.

BUSH, V. 1945. *Science, The Endless Frontier*. Washington D.C.: US Government Printing Office.

DE CHADAREVIAN, S. 1997. Sequences, Conformation, Information: Biochemists and Molecular Biologists in the 1950s. *Journal of the History of Biology*, vol. 29: 361-386.

DE CHADAREVIAN, S. and Jean-Paul GAUDILLIERE, 1996. The Tools of the Discipline: Biochemists and Molecular Biologists, *The Journal of the History of Biology*, vol. 29 (3), pp. 327-479.

GUIRAO, F. 1998. *Spain and the Reconstruction of Western Europe 1945-1957*. Londres: MacMillan.

GUMMETT, P. 1992. "Science and technology policy". *Encyclopedia of Government and Politics*, vol. 2. M. Hawkesworth and M. Kogan, eds. (London-New York: Routledge), 759-776.

HEADRICK, Daniel R. (1981): *The Tools of Empire. Technology and European Imperialism in the Nineteenth Century*. Nueva York-Oxford: Oxford University Press. (Trad. cast. *Los instrumentos del imperio. Tecnología e imperialismo europeo en el siglo XIX*, Madrid: Alianza, 1989).

KAY, L. E. 1993. *The Molecular Vision of Life: Caltech, the Rockefeller Foundation and the Rise of the New Biology*. New York-Oxford: Oxford University Press.

KING, A. 1974. *Science and policy. The International Stimulus*. Londres: Oxford University Press.

KOHLER, R. E. 1982. *From Medical Chemistry to Biochemistry. The Making of a Biomedical Discipline*. Cambridge: Cambridge University Press.

KOHLER, R. E. 1991. *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists 1900-1945*. Chicago: University of Chicago Press.

MOKYR, J. 1990. *The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press. (Trad. cast. *La palanca de la riqueza. Creatividad tecnológica y progreso económico* (Madrid: Alianza, 1993)).

MORENO, A. 1998. *Franquismo y construcción europea (1951-1962)*. Madrid: Tecnos.

MUÑOZ, E. et al. 1999. *Estudio y análisis prospectivo de la biotecnología y su aplicación en España*. Madrid: CEFI. Mimeo.

PESTRE, D. and KRIGE, J. 1992. "Some thoughts on the early history of CERN." In GALISON, P (ed.) *Big Science: The Growth of Large Scale Laboratories*. Stanford: Stanford University Press. 78-99.

RASMUSSEN, N. 1997. "The mid-century biophysics bubble: Hiroshima and the biological revolution in America, revisited." *History of Science* 35: 245-293.

RHEINBERGER, Hans-Jörg (1997): *Toward a History of Epistemic Things. Synthesizing Proteins in the Test Tube*. Stanford: Stanford University Press.

SANTESMASES, M.J. 2000. "Severo Ochoa and the biomedical sciences in Spain under Franco, 1959-1975." *Isis* (forthcoming).

SANTESMASES, M.J. y MUÑOZ, E. 1997. "Scientific organisations in Spain (1950-1970)." *Social Studies of Science* 27: 187-219.

SANZ-MENÉNDEZ, L. 1997. *Estado, ciencia y tecnología en España*. Madrid: Alianza.

SOLINGEN, E. 1993. "Between markets and the state: scientists in comparative perspective." *Comparative Politics* 26: 31-51.

STRICKLAND, S.P. 1972. *Politics, Science, and Dread Disease. A short history of United States Medical Research Policy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

VIÑAS, Á. 1981. *Los pactos secretos de Franco con los Estados Unidos. Bases, ayuda económica, recortes de soberanía*. Barcelona: Grijalbo.

WRIGHT, Susan (1996). *Molecular Politics: Developing American and British regulatory policy for genetic engineering, 1972-1982*. Chicago: University of Chicago Press.

Nota biográfica

Linsu Kim es Profesor de Gestión en la Facultad de Administración de Empresas de la Universidad de Corea (Seúl, República de Corea). También es Presidente del Consejo de Reforma Gubernamental y de la Sociedad Coreana de Gestión del Conocimiento. Su correo electrónico es linsukim@unitel.co.kr. Entre sus publicaciones más recientes podemos citar Imitation to Innovation [De la imitación a la innovación] (Harvard Business School Press, 1997), Learning and Innovation for Economic Development [Aprendizaje e innovación para el desarrollo económico] (Edward Elgar Press, 1999) y Technology, Learning and Innovation [Tecnología, aprendizaje e innovación] (en colaboración con Richard Nelson, Cambridge University Press, 2000).

La dinámica del aprendizaje tecnológico en la industrialización

Linsu Kim¹

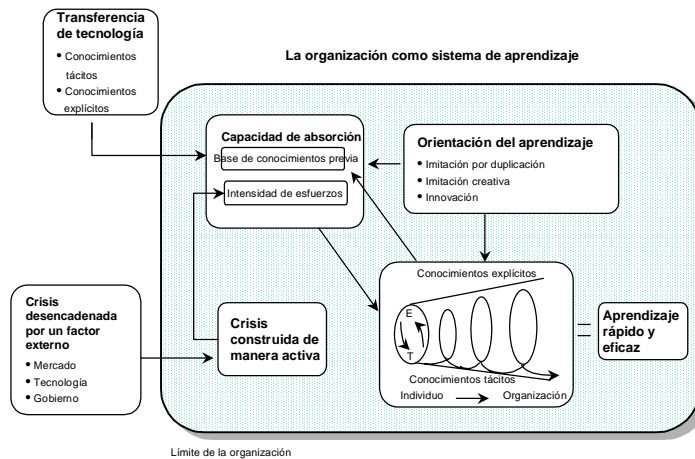
Introducción

En la mayoría de los países avanzados, la industrialización ha supuesto un proceso de cambio de una sociedad de tipo tradicional a una de corte moderno. La ciencia y la tecnología han desempeñado un papel crucial en dicho proceso. Hay numerosos estudios que muestran que más del 50% del crecimiento económico en los países avanzados se deriva de la innovación tecnológica (Grossman, 1991). Es decir, el desarrollo industrial es el proceso de fortalecimiento de las capacidades tecnológicas mediante el aprendizaje y conversión de las mismas en productos y procesos innovadores en el curso de un cambio tecnológico continuo (Pack y Westphal, 1986).

La capacidad tecnológica hace referencia a la aptitud de hacer un uso eficaz del conocimiento tecnológico en la producción, la ingeniería y la innovación, con el fin de mantener la competitividad, tanto en precio como en calidad. Tal capacidad permite a una empresa asimilar, emplear, adaptar y modificar las tecnologías existentes. Asimismo, le permite crear nuevas tecnologías y desarrollar nuevos productos y métodos de fabricación que respondan al cambiante entorno económico. El aprendizaje tecnológico es el proceso de fortalecimiento y acumulación de las capacidades tecnológicas. Tanto los gobiernos como las empresas deben preocuparse por el fortalecimiento de las capacidades para poder incrementar la competitividad. Aunque este tipo de actividades se dé en gran medida en las empresas, la política gubernamental puede crear una infraestructura importante que las facilite.

En los países avanzados, la capacidad tecnológica se acumula en gran parte gracias al proceso de “aprender investigando”, que amplía la frontera tecnológica. En los países en desarrollo, en cambio, la capacidad tecnológica se crea principalmente mediante el proceso de imitación que supone el “aprender haciendo”. Algunas economías recientemente industrializadas han llevado a cabo una rápida transición del “aprender haciendo” al “aprender investigando”. La República de Corea, Taiwan y Singapur constituyen buenos ejemplos de ello (Hobday, 1995).

Figura 1 Modelo Integrador



El modelo analítico que se presenta a continuación ayuda a explicar la dinámica del aprendizaje tecnológico en el proceso de industrialización. Se emplea para estudiar la experiencia coreana de la industrialización como ejemplo que viene al caso. De esa experiencia pueden extraerse una serie de consecuencias útiles para otros países en desarrollo.

Modelo Analítico

Sobre la base de un estudio exhaustivo de la industria del automóvil en la República de Corea, Kim (1998) elaboró un modelo integrador para la comprensión de la dinámica del aprendizaje tecnológico en el plano empresarial (véase la Figura 1). Este modelo muestra que el aprendizaje tecnológico rápido y eficaz se produce mediante la conversión que se produce entre el conocimiento explícito y tácito. Por conocimiento explícito entendemos el conocimiento que se encuentra codificado y que puede transmitirse usando un lenguaje formal y sistemático, mientras que el conocimiento tácito, al tener unas raíces tan profundas en el cuerpo y la mente humanos, difícilmente puede codificarse y transmitirse y sólo puede expresarse por medio de la acción, el compromiso y la participación en un contexto específico. El aprendizaje y la creación de conocimiento que se produce mediante la interacción entre el conocimiento explícito y el tácito irán aumentando en escala a medida que se avanza en una progresión espiral ascendente desde el plano individual hasta el nivel organizativo (Nonaka y Takeuchi, 1995).

En la Figura 1 se muestra también que hay un gran número de variables que afectan directa o indirectamente al proceso espiral de aprendizaje tecnológico. La orientación del aprendizaje es una de ellas. En los primeros estadios de la industrialización, las empresas en los países en desarrollo emprenden la imitación por duplicación de productos extranjeros maduros mediante una ingeniería inversa. La mayoría de los países en desarrollo de segunda y tercera fase se encuentran en este estadio. Posteriormente, a medida que avanza la industrialización, estos países cambian su enfoque, pasando de la imitación por duplicación a la imitación creativa y comienzan a fabricar productos que incorporan nuevas características. La mayoría de las economías recientemente industrializadas de primera fase se encuentran en este estadio. Cuando un país en desarrollo se pone a la altura de los países adelantados y alcanza la tecnología avanzada, comienza a dar más importancia a la innovación original en detrimento de la imitación. En este sentido, puede que el Japón sea el único país que haya alcanzado este estadio desde la Segunda Guerra Mundial. Las diferencias en la orientación del aprendizaje influirán en la velocidad y la naturaleza del proceso de aprendizaje, pues precisan de conocimientos explícitos y tácitos de diferentes clases y características. Por ejemplo, en el estadio de duplicación por imitación, la transformación del conocimiento es fácil y rápida, sin que sea necesario realizar un gran número de ensayos, puesto que, por lo general, el conocimiento maduro se encuentra disponible y que es relativamente fácil llevar a cabo tanto la ingeniería inversa como el “aprender haciendo” (Kim, 1997a). Por el contrario, en el estadio de imitación creativa, la transformación del conocimiento es cada vez más difícil y requiere que se lleven a cabo un gran número de ensayos, puesto que la asimilación del conocimiento disponible es una tarea de una dificultad creciente. En el estadio de innovación, generar nuevo conocimiento mediante el aprendizaje y aplicarlo de manera creativa para crear productos y servicios competitivos deviene extremadamente difícil.

El proceso de aprendizaje se ve también afectado por la capacidad de absorción, la cual se compone de dos elementos principales: la base de conocimientos existente y la intensidad de esfuerzo (Cohen y Levinthal, 1990). La base de conocimientos existente constituye una plataforma esencial en el aprendizaje tecnológico, al influir el conocimiento actual en los procesos y la naturaleza del aprendizaje para generar un mayor conocimiento en el futuro. La intensidad de esfuerzo hace referencia a la cantidad de energía desplegada por los miembros de la organización a la hora de resolver los problemas. Limitarse a exponer a las empresas al conocimiento externo pertinente resulta insuficiente si no se realiza un esfuerzo por internalizarlo. Por lo tanto, cuanto mayores sean la base de conocimientos existente y la intensidad de esfuerzo, más rápido y más a fondo será el proceso en espiral del aprendizaje tecnológico.

¿Cómo pueden hacer crecer las empresas su base de conocimientos existente? La transferencia tecnológica desde empresas extranjeras sitas en países avanzados puede constituir una fuente muy importante de nuevos conocimientos para las empresas que se encuentran en los países en desarrollo. La transferencia tecnológica puede realizarse a través de la mediación del mercado. Las inversiones directas extranjeras, la obtención de licencias para la explotación de patentes extranjeras y los planes exhaustivos de ejecución inmediata son los principales mecanismos oficiales existentes. La tecnología se puede transferir también de modo oficioso sin que medie el mercado: la fabricación de equipo de marca, las publicaciones y la movilidad humana constituyen sus principales mecanismos. También hay que señalar que la creación de nuevos conocimientos a través del proceso en espiral del aprendizaje tecnológico puede aumentar la base de conocimientos existente.

¿Cómo deben administrar las empresas la intensidad de esfuerzo? El aprendizaje tecnológico acumulativo puede darse en circunstancias normales. No obstante, el aprendizaje discontinuo tiene lugar cuando se percibe una crisis en la competencia del mercado y se pone en práctica una estrategia para enmendar la situación. Así como el término “crisis” es en chino (*weiji*, 危机) una combinación de dos caracteres (amenaza y oportunidad), habrá empresas que aprovecharán la crisis como una oportunidad para intensificar su esfuerzo y transformar las capacidades tecnológicas de manera discontinua mediante el aprendizaje tecnológico rápido y eficaz. Por tanto, una crisis, más que destructiva, puede ser creativa (Kim, 1998).

La crisis puede ser desencadenada por un factor externo cuando la empresa pierde su posición competitiva en el mercado, o puede provocarse cuando los directivos, al imponer objetivos que constituyen un reto, crean una sensación de crisis. Una crisis desencadenada por un factor externo lo será para los directivos, pero no necesariamente para los escalones inferiores de la organización, quienes pueden negarse a reconocer que dicha crisis es real. En cambio, una crisis provocada por los directivos, al imponer objetivos ambiciosos para el equipo, genera una gran presión para que se intensifiquen los esfuerzos de aprendizaje tecnológico, con lo cual la crisis resultará creativa.

El gobierno puede utilizar una serie de instrumentos políticos para influir en el proceso dinámico de aprendizaje tecnológico en el plano empresarial. Así, puede invertir para desarrollar los recursos humanos que emprendan actividades tecnológicas. También pueden hacer uso de las políticas industriales y de investigación y desarrollo (I y D) para crear una demanda de aprendizaje tecnológico y reforzar la oferta de capacidad tecnológica. No hay que olvidar los incentivos financieros y fiscales, que facilitan el proceso interactivo entre la demanda y la oferta de aprendizaje tecnológico (Kim y Dahlman, 1992).

Un caso de dinámica del aprendizaje tecnológico

Los países en desarrollo, en su gran mayoría, han intentado industrializar sus economías, pero la mayor parte sólo ha logrado escasos progresos. La República de Corea, uno de los pocos que cuenta en su haber con considerables avances, ha pasado, a lo largo de los cuatro últimos decenios, de ser una economía de subsistencia agraria a convertirse en una economía recientemente industrializada. Desde 1962, la economía coreana ha crecido a un promedio anual de casi un 8%, haciendo que el Producto Nacional Bruto (PNB) per cápita aumentase en precios corrientes de 87 dólares en 1962 a 10.550 dólares en 1997. Aunque el país padeció su peor crisis económica en 1997, su economía se recuperó con una impresionante tasa de crecimiento del 10% en 1999, que se espera sea superior al 8% en 2000.

Las exportaciones pasaron de tan sólo 40 millones de dólares en 1962 a 143.000 millones de dólares en 1999, con importantes cambios estructurales. Así, a mediados del decenio de 1960, la República de Corea comenzó a exportar géneros textiles, prendas confeccionadas, juguetes, pelucas, madera contrachapada y otros productos maduros de uso intensivo de mano de obra. Diez años después, los astilleros, la industria siderúrgica, los bienes de consumo electrónicos y los servicios de construcción de la nación entraron en competencia con los de los proveedores establecidos de los países industriales avanzados. A mediados del decenio de 1980, los ordenadores, los chips de memoria, los magnetoscopios, los conmutadores electrónicos, los

automóviles, las plantas industriales y otros productos intensivos en tecnología se añadieron a la lista de las principales exportaciones coreanas. Se han comenzado a exportar productos de última generación tales como los productos multimedia, los televisores de alta resolución y los sistemas de telecomunicación celulares.

¿Cómo ha podido lograr la República de Corea que en sólo cuatro decenios su capacidad tecnológica creciese de manera tan extraordinaria? El modelo analítico puede aplicarse a la experiencia coreana para ilustrar el proceso dinámico del aprendizaje tecnológico en la industrialización. Los principales elementos estructurales del análisis que se expone a continuación son las variables que afectan directamente al proceso espiral del aprendizaje tecnológico: orientación del aprendizaje y capacidad de absorción. Se tienen también en cuenta las variables indirectas, tales como la transferencia de tecnología y la creación de crisis, que forman parte del modelo analítico.

El estadio de imitación por duplicación

En el país, la imitación por duplicación comenzó en el decenio de 1960 en industrias ligeras tales como la textil, la de juguetes, la del contrachapado de madera y la de bienes de consumo electrónicos; en el decenio de 1970 empezó a darse en industrias pesadas tales como la del automóvil, la siderúrgica, los astilleros y la maquinaria.

¿Cómo adquirieron las empresas coreanas la *base de conocimientos existente* para acelerar el aprendizaje tecnológico en esas industrias? Para la República de Corea, los cuatro mecanismos más importantes de creación de conocimiento en el estadio de imitación por duplicación, fueron la educación, la transferencia de tecnología extranjera, la creación deliberada de *chaebols* (grandes grupos industriales familiares) y la movilidad de personal técnico experimentado. El primero de ellos, la educación dirigida al desarrollo de los recursos humanos, constituyó uno de los esfuerzos más notables de la nación en aras de la industrialización. Hubo otros países en desarrollo que lograron, al igual que la República de Corea, un rápido crecimiento de la tasa de educación primaria, pero éste ha sido el único país que ha logrado una expansión equilibrada en todos los niveles de la educación lo suficientemente pronto como para sustentar su desarrollo económico. Usando datos de finales del decenio de 1950 relativos a 73 países en desarrollo, Harbison y Myers (1964) comprobaron que tres naciones, la República de Corea, Taiwan y Yugoslavia, tenían niveles de rendimiento educativo mucho más elevados que lo que cabía esperar dados sus niveles de desarrollo económico. Se trata de los países que en los decenios siguientes realizaron importantes avances en la industrialización. Los datos reflejan el importante compromiso de la sociedad coreana con la educación. En los primeros años, el ritmo de expansión de la educación dejó atrás al progreso económico, lo cual creó un grave problema de desempleo para los que habían recibido una formación. Sin embargo, la formación de recursos humanos instruidos asentó una importante base tácita de conocimientos para el subsiguiente desarrollo de la economía, la cual absorbió rápidamente el excedente.

En segundo lugar, ante la falta en un principio de capacidad tecnológica, las empresas coreanas dependían enormemente de fuentes extranjeras para la adquisición tanto del conocimiento explícito como del tácito. La mayoría de los importantes y cruciales conocimientos tácitos y explícitos precisos para solucionar los problemas técnicos en el estadio de imitación por duplicación podían obtenerse mediante mecanismos oficiosos, tales como las publicaciones, la

ingeniería inversa y la asistencia técnica asociada a la fabricación de equipo de marca. Claramente, fue esta la modalidad de transferencia tecnológica que prevaleció en las pequeñas empresas innovadoras. Las grandes empresas coreanas recurrieron a mecanismos en debida forma como la transferencia de plantas listas para su funcionamiento inmediato o los acuerdos de explotación de patentes técnicas con proveedores extranjeros. No obstante, la transferencia tecnológica oficiosa ha cobrado más importancia en la ampliación posterior de las capacidades, tanto de las grandes empresas como de las pequeñas (Kim, 1997a).

En tercer lugar, el Gobierno creó y alimentó deliberadamente los *chaebols* como motores de un rápido crecimiento económico. Los *chaebols* constituyeron la principal fuente de la industrialización coreana. Contrataron a aquellos candidatos que entraban a formar parte de la mano de obra con las mejores cualificaciones, disponían de los recursos técnicos y financieros para adquirir tecnología extranjera, lograron una rápida difusión de las capacidades tecnológicas en sus filiales mediante la aplicación de la experiencia obtenida en un ámbito de negocios a otros campos y encabezaron la ampliación, profundización, y mundialización de la I+D industrial de manera drástica en la República de Corea.

En cuarto y último lugar, la movilidad de personal técnico experimentado proporcionó una de las vías más eficaces para que las empresas que entraron más tarde adquirieran la base de conocimientos necesaria. Así, en el decenio de 1970 la mayoría de los productores de bienes de consumo electrónicos entraron en la industria robando personal directivo y técnico con experiencia a las empresas existentes en el sector. Durante el decenio de 1950 y 1960, las grandes empresas químicas y de maquinaria estatales dependían totalmente de la transferencia de plantas listas para su funcionamiento inmediato y de los ingenieros extranjeros para la obtención de la base de conocimientos inicial: pero aquellos ingenieros que habían acumulado experiencia en los métodos de producción modernos en esas empresas, acabaron yéndose a empresas privadas y proporcionando allí la base de conocimientos esencial.

¿Cómo se aumentó la *intensidad de esfuerzo* por parte del Gobierno de la República y de los directivos de las empresas de ese país? Los cuatro medios principales fueron el fomento de la exportación, la creación apresurada de industrias químicas y pesadas, la estrategia de transferencia tecnológica y la creación de crisis. El primer medio: dado el reducido mercado nacional, el Gobierno utilizó el fomento de las exportaciones como instrumento esencial para el logro de objetivos de crecimiento económico. La política de fomento de las exportaciones trajo consigo oportunidades comerciales al tiempo que impuso crisis provocadas externamente, al verse las empresas inmersas en una lucha “a muerte” en el competitivo mercado internacional. Para poder sobrevivir a las crisis y maximizar la utilización de la capacidad en exceso del tamaño del mercado local, las empresas coreanas crearon a su vez crisis internas para acelerar el aprendizaje tecnológico mediante la ingeniería inversa, la importación y la asimilación rápida de la tecnología de producción del extranjero.

El segundo medio: las autoridades impusieron a las empresas una crisis provocada externamente mediante la creación apresurada de las industrias químicas y pesadas sin que hubiese habido una preparación adecuada de la capacidad tecnológica. El Gobierno inició el programa de ese tipo de industrias antes de lo previsto, con mayor intensidad y mucho menos tiempo de lo que había planeado previamente. Este movimiento apresurado fue motivado más por la necesidad de crear una capacidad de defensa nacional autosuficiente, tras la retirada de las tropas estadounidenses de

la República de Corea, que por motivos económicos. Tal promoción acelerada condujo a un rápido incremento de la deuda externa, a una asignación ineficiente de recursos, inflación y una mayor concentración de poderes económicos en los distintos *chaebols* que participaban en las industrias químicas y pesadas. No obstante, su resultado más significativo fue el aprendizaje tecnológico rápido y eficaz. Ante la falta de capacidad, los *chaebols* tuvieron que depender casi totalmente de fuentes de tecnología extranjeras. Las labores necesarias para poder asimilar la tecnología importada estaban tan por encima de la capacidad disponible de las empresas, que ese programa industrial desencadenó una importante crisis en el establecimiento de plantas, en su puesta en marcha y en el dominio de la tecnología de producción. Las empresas se vieron obligadas a asimilar la tecnología a marchas forzadas, para lo cual tuvieron que acelerar el aprendizaje, como muestra la Figura 1 y, a su vez, intensificar el uso de las capacidades aumentando la competitividad para poder sobrevivir. Como resultado de ello, en la República de Corea hicieron falta sólo 15 años para que la proporción entre el valor añadido de las industrias ligeras y de las químicas y pesadas cayera de 4 a 1, un cambio que tardó en producirse 25 años en el Japón y 50 en los Estados Unidos de América (Watanabe, 1985).

El tercer medio: la política gubernamental y la estrategia de las empresas en materia de transferencia de tecnología extranjera supusieron una intensificación del esfuerzo. En el decenio de 1960, el Gobierno coreano restringió la inversión directa extranjera, promoviendo en su lugar la transferencia de tecnología por otros medios, tales como las importaciones de bienes de equipo. En consecuencia, y a diferencia de lo que sucedió en otros países en desarrollo, la inversión directa extranjera tuvo una repercusión mínima en la economía coreana. Esta política obligó a las empresas coreanas a mantener su independencia de gestión con respecto a las multinacionales extranjeras. Incluso en los casos en los que, por diversos motivos, se permitió una participación en las acciones se mantuvo la independencia en la gestión. Un buen ejemplo es Hyundai Motors (Kim, 1998). Esta política creó una crisis, obligando a las empresas coreanas a invertir de forma agresiva para acceder al aprendizaje tecnológico y, por consiguiente, acumular capacidad tecnológica. A diferencia de las filiales extranjeras que pueden depender de sus casas matrices para la provisión de tecnología, las empresas coreanas independientes tuvieron que tomar iniciativas y desempeñar un papel central a fin de adquirir, asimilar y mejorar la tecnología extranjera madura para llevar a cabo la imitación por duplicación.

El cuarto medio: hubo muchas empresas coreanas que desencadenaron crisis de una manera activa -para responder a crisis provocadas por un factor externo o como respuesta a la ausencia de las mismas- mediante el establecimiento de objetivos ambiciosos como una manera de acelerar el aprendizaje tecnológico. Las crisis fabricadas aumentan la intensidad de esfuerzo tanto en los planos individual como empresarial, en busca de caminos alternativos que las conviertan en crisis constructivas. La creación de crisis y el aprendizaje tecnológico acelerado se generalizaron en la industria manufacturera coreana. Las empresas de automóviles, los astilleros, la industria siderúrgica, la electrónica y las industrias de fabricación de maquinaria sufrieron procesos similares de creación de crisis y de aprendizaje acelerado en el estadio de imitación por duplicación.

El estadio de imitación creativa

En el decenio de 1980, la caída de la competitividad que se produjo en las industrias tecnológicas maduras de bajos salarios, forzó a las empresas coreanas a cambiar la orientación del aprendizaje

de la imitación por duplicación a la imitación creativa. Frente a lo que había ocurrido en la etapa anterior, ahora las empresas, para poder llevar a cabo la imitación creativa, precisaban una base de conocimientos existente de un nivel significativamente superior.

¿Qué es lo que hicieron el Gobierno y los directivos de las empresas para elevar la *base de conocimientos existente*? Las cinco fuentes de conocimiento principales en el estadio de imitación creativa fueron la transferencia tecnológica formal, la inversión del éxodo de competencias, la I+D empresarial, las universidades y los institutos públicos de investigación. En primer lugar, la transferencia de tecnología extranjera continuó siendo uno de los principales medios para fortalecer la base de conocimientos existente de las empresas coreanas. Aunque las tecnologías maduras estaban ya disponibles y podían obtenerse sin coste alguno mediante mecanismos officiosos, las tecnologías perfeccionadas sólo podían aprehenderse mediante mecanismos oficiales. La obtención del conocimiento necesario suponía cada vez un coste mayor para las empresas coreanas, tal y como queda de manifiesto en las estadísticas: la inversión directa extranjera aumentó de 218 millones de dólares entre 1967 y 1971 a 1.760 millones de dólares entre 1982 y 1986, mientras que en el mismo periodo los royalties en concepto de licencias para la explotación de patentes extranjeras pasaron de 16.300.000 dólares a 1.180 millones de dólares.

En segundo lugar, otra fuente importante de conocimiento externo fue el proceso de inversión del éxodo de recursos humanos coreanos altamente cualificados que se encontraban en el extranjero. En el estadio de imitación por duplicación, el Gobierno coreano adoptó una política relativamente liberal con respecto al éxodo de competencias. Así, en 1967 un 96,7% de los científicos y un 87,7% de los ingenieros coreanos formados en el extranjero permanecían allí, principalmente en los Estados Unidos de América, a diferencia de los porcentajes de la totalidad de los países: sólo permanecían en el extranjero una vez formados un 35% de los científicos y un 30,2% de los ingenieros (Hentges, 1975). Cuando en el decenio de 1970 la industrialización progresó rápidamente, el Gobierno coreano aplicó de manera sistemática medidas para repatriar a los científicos e ingenieros coreanos. El programa estatal de inversión del éxodo de competencias tuvo bastante éxito ya que muy pocos de los que regresaron volvieron a irse a los países avanzados. El programa se convirtió en un modelo para el sector privado, el cual comenzó a llevar a cabo en el decenio de 1980 una política de contratación audaz de científicos e ingenieros de alto nivel. Estas personas desempeñaron un papel crucial en los institutos públicos de investigación y centros de I+D de las empresas que estaban surgiendo.

En tercer lugar, el surgimiento y el rápido aumento de las actividades empresariales en materia de I+D fue una de las características más notables del estadio de imitación creativa, dando lugar a la capacidad de negociación de las empresas en materia de transferencia formal de tecnología, a la asimilación de las tecnologías importadas y a la creación de nuevo conocimiento mediante la conversión del mismo y la investigación. Como se muestra en el Cuadro 1, el número de laboratorios empresariales de I+D ascendió de 1 en 1970 a 966 en 1990, lo cual refleja la seriedad con la que las empresas coreanas perseguían el desarrollo de tecnología intermedia. Durante el mismo periodo, la inversión total en I+D ascendió de 10.600 millones de won (28.600.000 dólares) a 3.350.000 millones de won (4.680 millones de dólares) y la participación de la I+D en el PNB (I+D/PNB) pasó del 0,32% al 1,95%. La tasa de crecimiento fue la mayor del mundo. En 1963 el sector privado contribuía sólo con un 2% al gasto total del país en I+D, mientras que en 1990 lo hacía con un 81%.

Cuadro 1: Gastos en investigación y desarrollo, 1965-1998

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1998
Gastos en I+D	2,1	10,5	42,7	282,5	1.237,1	3.349,9	9.440,6	11.336,6
Gobierno	1,9	9,2	30,3	180,0	306,8	651,0	1.780,9	3.051,8
Sector privado	0,2	1,3	12,3	102,5	930,3	2.698,9	7.659,7	8.276,4
Gobierno frente sector privado	61:39		71:29	64:36	25:75	19:81	19:81	27:73
I+D/PNB	0,26	0,38	0,42	0,77	1,58	1,95	2,51	2,52
Sector manufacturero								
Gastos en I+D	NA	NA	16,7 ^a	76,0	688,6	2.134,7	5.809,9	6.439,2
Porcentaje de las ventas	NA	NA	0,36 ^a	0,50	1,51	1,96	2,72	2,64
Número de investigadores (total) ^b	2.135	5.628	10.275	18.434	41.473	70.503	128.315	129.767
Institutos gubernamentales de investigación	1.671	2.458	3.086	4.598	7.542	10.434	15.007	12.587
Universidades	352	2.011	4.534	8.695	14.935	21.332	44.683	51.162
Sector privado	112	1.159	2.655	5.141	18.996	38.737	68.625	66.018
Gasto en I+D por investigador (en miles de won)	967	1.874	4.152	15.325	27.853	47.514	73.574	87.361
Investigador por cada 10.000 habitantes	0,7	1,7	2,9	4,8	10,1	16,4	28,6	27,9
Número de centros empresariales de I+D	0	1 ^c	12	54	183	966	2.270	3.760

NOTAS: a: para 1976.

b: Las cifras no incluyen ayudantes de investigación, técnicos y otro personal de apoyo.

c: para 1971.

Fuente: Ministerio de Ciencia y Tecnología, República de Corea.

En cuarto lugar, el estadio de imitación creativa exigía que las universidades formasen a científicos e ingenieros mejor preparados y con unas capacidades básicas más perfeccionadas que nunca. No obstante, la baja calidad de la educación e investigación universitarias fue un gran impedimento para la creación de la base de conocimientos en el país. El Gobierno, tras sus frustrados esfuerzos de reforma de las universidades que impartían cursos de licenciatura orientados hacia la enseñanza, decidió fundar el Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea (IACTC), una institución para licenciados universitarios orientada hacia la investigación y especializada en ciencia e ingeniería. Sin embargo, una sola institución no podía proporcionar el número de licenciados universitarios que se precisaba para aumentar el nivel de la base de conocimientos de las empresas.

En quinto lugar, dada la carencia de investigación universitaria, el Gobierno tomó la iniciativa de crear una serie de institutos de investigación por medio de la contratación de científicos e ingenieros de nacionalidad coreana formados en el extranjero. Esos establecimientos estaban orientados hacia la industria y tenían como finalidad atender a las necesidades crecientes del sector privado. Su trabajo se centraba en sectores tales como las sustancias químicas, la producción de maquinaria, la electrónica, las ciencias del mar, la normalización, la energía nuclear, la biotecnología, la ingeniería de sistemas y el aeroespacial. Muchos investigadores experimentados, formados en esos institutos, pasaron a trabajar en los centros de I+D de las empresas.

¿Qué hicieron el Gobierno y los directivos de las empresas para reforzar la *intensidad de esfuerzo*? El fomento de las exportaciones y la creación de crisis también fueron importantes durante el estadio de imitación creativa, al igual que lo habían sido en el estadio anterior. Primeramente, desde el momento en que el país emprendió los ajustes estructurales necesarios para pasar de industrias de tecnología madura a industrias de tecnología intermedia, sus rivales en los mercados de exportación ya no eran otros países en desarrollo, sino países avanzados. En consecuencia, la importancia que se asignaba de forma constante al fomento de las exportaciones hizo que a las empresas coreanas les fuera más difícil competir, lo cual provocó una crisis enorme en el mercado internacional. La competencia cada vez más feroz en industrias de un uso más intensivo de la tecnología y la negativa de los países avanzados a compartir las tecnologías perfeccionadas, obligó a las empresas coreanas a intensificar sus esfuerzos de I+D y a aumentar el “aprendizaje mediante la investigación”.

En segundo término, aunque la imitación creativa precisaba de mucho más ingenio que la imitación por duplicación, la creación de crisis continuó siendo un medio estratégico útil para intensificar el esfuerzo de aprendizaje tecnológico. No obstante, la utilidad de la creación de crisis está inversamente relacionada con el nivel de creatividad que precise el esfuerzo tecnológico.

El estadio de innovación

Algunos *chaebols* coreanos, una vez dominadas las tecnologías intermedias necesarias para la imitación creativa, comenzaron a poner a prueba las tecnologías emergentes de cara a la innovación. Por ejemplo, en el ámbito de los semiconductores, Samsung desarrolló los microprocesadores dinámicos de memoria de acceso aleatorio (DRAM) de 256 megabytes y 1 gigabyte antes de que lo hiciera el Japón (Kim 1997b). Aunque se registró una patente básica en los Estados Unidos de América, la República de Corea fue el primer país que comercializó la tecnología de telefonía móvil de acceso múltiple por división de código (CDMA).

¿Cómo pudo alcanzar la República de Corea el estadio de innovación en lo referente a la *base de conocimientos existente*? ¿Qué tipo de problemas debe afrontar ahora? En los dos estadios anteriores, el conocimiento pertinente ya estaba disponible en algún otro lugar y las empresas coreanas podían copiarlo o comprarlo para incorporarlo a su propia base de conocimientos. Sin embargo, en el estadio de innovación, las empresas coreanas están obligadas a crear tal conocimiento. Con este fin, se han utilizado con éxito cinco mecanismos: la investigación básica en las universidades, la investigación aplicada orientada a la consecución de un fin en los

institutos públicos de investigación, las intensas actividades de I+D por parte de las empresas, la mundialización de la I+D y la contratación de personal altamente cualificado del extranjero.

En primer lugar, el Gobierno coreano, consciente de la importancia de la investigación básica en las universidades, comenzó a transformar unas diez universidades en escuelas para licenciados orientadas hacia la investigación. En consecuencia, el número de investigadores universitarios pasó a ser más del doble: frente a los 21.332 en 1990, en el año 1998 había 51.162. Además, en 1989 el Gobierno puso en práctica, reproduciendo la experiencia de los Estados Unidos de América, un plan para establecer centros de investigación científica y centros de investigación en ingeniería en las universidades más avanzadas del país. El número de esos centros aumentó, pasando de 13 en 1990 a 35 en 1995. No obstante, la mayoría de las universidades coreanas siguen sin contar con el equipo necesario para proporcionar un apoyo adecuado a la industria y economía coreanas. La creación de un sistema universitario moderno y sólido requerirá una inversión enorme y un cambio cultural, algo que tardará en producirse por lo menos diez años, si no más.

En segundo lugar, a la vez que aumentó la inversión en la investigación universitaria, los institutos públicos de investigación desempeñaron un papel fundamental al desarrollar algunos de los resultados de investigación más importantes (tales como los microprocesadores de memoria DRAM de 4 megabytes, los conmutadores electrónicos y los sistemas de telefonía móvil de acceso múltiple por división de código (CDMA)), los cuales pasaron posteriormente al sector privado. En 1992, el Gobierno emprendió el Proyecto Nacional de I+D Altamente Avanzado, también conocido como Proyecto G-7, que tenía como objetivo aumentar la capacidad tecnológica coreana hasta ponerla al nivel de los países del G-7 para el 2020. La cantidad total que será invertida de manera conjunta por el Gobierno, las universidades y las empresas asciende a 5.700 millones de dólares, de los cuales aproximadamente la mitad procederán del sector privado. Sin embargo, como consecuencia de la rápida ampliación de las actividades de I+D del sector privado y de la intensidad creciente de la I+D en las universidades, durante un tiempo se ha debatido acerca de la reforma de los institutos públicos de investigación, con el objeto de redefinir sus funciones. No obstante, la inercia organizativa y la presencia de sindicatos en los institutos han dificultado la aplicación de las reformas.

En tercer lugar, ante las dificultades crecientes para la obtención de tecnología del extranjero y la importancia en aumento de la capacidad de innovación para sustentar la competitividad internacional de la República de Corea en años recientes, el sector privado incrementó de forma drástica su inversión en I+D, pasando de 2.370.000 millones de won (3.360 millones de dólares) en 1990 a 8.270.000 millones de won (7.520 millones de dólares) en 1998. Después de la crisis asiática, el Gobierno incrementó enormemente su inversión en I+D, pero en 1998 el sector privado mantenía su porcentaje del 73% del total nacional de I+D (véase el Cuadro 1). Dicho porcentaje es uno de los mayores tanto con respecto a los países avanzados como a los recientemente industrializados. El Cuadro también muestra que el número de centros de I+D de las empresas aumentó de 996 en 1990 a 3.760 en 1998, reflejando la importancia que las empresas privadas vienen asignando a la I+D en los últimos años.

En cuarto lugar, aunque la inversión para la investigación en las universidades y en los institutos de investigación aumentó de forma significativa, las empresas coreanas consideraron fundamental idear otras alternativas para fortalecer su base de conocimientos existente en materia

de nuevas tecnologías ante la creciente resistencia de los proveedores de tecnología extranjeros. Una alternativa es la mundialización de la I+D, que incluye el establecimiento de centros destacados de I+D, la fusión con empresas extranjeras de tecnología ultramoderna y su adquisición y las alianzas estratégicas con empresas multinacionales líderes. Los *chaebols* establecieron centros destacados de I+D en los Estados Unidos de América, el Japón y Europa para hacer un seguimiento del cambio tecnológico y emprender I+D de avanzada. El salto de Samsung que lo introdujo en el ámbito de los semiconductores es una buena muestra de cómo las empresas coreanas utilizaron estos centros destacados para adquirir la base de conocimientos necesaria (véase Kim, 1997b). Las empresas coreanas están también adquiriendo la base de conocimientos necesaria mediante la fusión con empresas extranjeras innovadoras con una intensa actividad de I+D y su adquisición. No obstante, la mundialización de la I+D es tan nueva para las empresas coreanas, que la gestión de las empresas extranjeras adquiridas no se realiza sin tropiezos.

Un número reducido de *chaebols* que están a la cabeza en el estadio de innovación tecnológica ha comenzado a constituir alianzas estratégicas con empresas extranjeras también líderes para el desarrollo de tecnologías futuras, pero el 95,6% del total de tales vínculos está constituido entre el triángulo formado por el Japón, los Estados Unidos de América y Europa. Las alianzas estratégicas con economías recientemente industrializadas, incluida la República de Corea, sólo son un 2,3% del total (Freeman y Hagedoorn, 1993). La República de Corea debe desarrollar sus propias tecnologías para compartirlas con empresas rivales con el fin de extender su red de tecnología mundial. Mediante ese proceso, por ejemplo, Samsung Electronics ocupó en 1999 el cuarto puesto mundial, después de IBM, NEC y Canon, en cuanto a número de patentes registradas en los Estados Unidos de América, dato que con frecuencia se utiliza como un indicador sustitutivo de la competitividad internacional.

En quinto lugar, en el decenio de 1990 la inversión del éxodo de competencias llegó a cobrar aún más importancia para los *chaebols* coreanos como vía para mejorar su base de conocimientos existente y dar el salto a las tecnologías punteras. Hubo muchos *chaebols* en industrias tales como la de los automóviles, la electrónica y los semiconductores que consiguieron atraer a algunos de los mejores científicos e ingenieros coreano-estadounidenses. Los *chaebols* coreanos les proporcionaron trabajos estimulantes, y atractivas retribuciones, además de una independencia considerable. Las estadísticas gubernamentales muestran que sólo en 1992 los centros de I+D de las empresas contrataron a 427 científicos e ingenieros en el extranjero.

Las empresas coreanas, al acercarse a la tecnología avanzada, encuentran cada vez más difícil graduar la *intensidad de esfuerzo*. No obstante, hay cuatro puntos obvios. El primero: la intensificación continua de la competencia de mercado constituye una fuente importante de estímulo para las empresas coreanas. Junto con la orientación a la exportación, la liberalización de las importaciones supuso una nueva fuente de incentivos, en el marco del régimen establecido por la Organización Mundial del Comercio que obligó a las empresas coreanas a competir con multinacionales no sólo en el contexto del mercado de exportación, sino también en el mercado nacional, provocando crisis externamente inducidas que las obligaron a intensificar sus esfuerzos.

Segundo punto: la creación de crisis constituye un medio eficaz de acelerar el aprendizaje tecnológico para ponerse al día, aunque no para ser pioneros. Los objetivos del aprendizaje en la puesta al día deben ser más específicos y claros que en el caso de querer ser pioneros. Las

empresas que se ponen al día pueden adquirir el conocimiento existente mediante el estudio de las publicaciones, el robo de personal a otras empresas, las visitas de observación y la obtención de licencias de explotación de determinadas tecnologías. En cambio, las empresas pioneras deben trabajar con una ambigüedad estratégica de la que sólo obtienen una dirección general (Nonaka, 1988). Este último tipo de empresas tiene dificultades a la hora de identificar fuentes externas o el conocimiento pertinente. En consecuencia, el aprendizaje, en los supuestos de empresas pioneras, es creativo, pero no necesariamente acelerado.

Tercer punto: los coreanos, a diferencia de lo que ocurría en decenios anteriores, ya no son tan trabajadores. La democratización y el sindicalismo han traído como consecuencia importantes cambios en la sociedad y en las organizaciones: los trabajadores son menos sumisos que en el pasado. La nueva generación criada en la abundancia se muestra menos dispuesta a trabajar duro que la vieja generación, con lo que se dificulta, incluso en el caso de las empresas que buscan ponerse al día, la utilización de la creación de crisis como medio para intensificar el esfuerzo de aprendizaje.

Cuarto punto: la crisis asiática de 1997 parece haber creado un importante dinamismo en el mercado. Durante el año posterior a la crisis y para aumentar la liquidez a corto plazo, los *chaebols* de gran tamaño redujeron sus actividades de I+D en aproximadamente un 13% (Kim, 1999). El resultado fue un gran auge de las pequeñas empresas con base tecnológica en la República de Corea. Los científicos e ingenieros altamente cualificados que habían sido despedidos por los *chaebols* fundaron un gran número de pequeñas empresas con base tecnológica, con lo cual el número de empresas de riesgo aumentó, pasando de unas 100 en el momento posterior a la crisis, a principios de 1998, a un total de más de 7.000 en junio de 2000. Contrariamente a lo esperado, el número de laboratorios empresariales de I+D en la República de Corea ascendió: de 3.060 en el momento de la crisis pasó a 5.200 dos años después. Las pequeñas y medianas empresas fueron las responsables del 95% de dicho incremento.

Repercusiones para otros países en desarrollo

Del formidable crecimiento de la República de Corea en el fortalecimiento de su capacidad tecnológica acaecido en los últimos cuatro decenios se pueden extraer conclusiones aplicables a otros países en desarrollo. Primero, el fomento de la exportación es un eficaz instrumento político que constituye un estímulo competitivo para que las empresas aceleren el aprendizaje tecnológico. Obligó a las empresas coreanas en los sectores orientados hacia la exportación a aprender y a crecer a una velocidad significativamente superior que las empresas en sectores orientados a la sustitución de importaciones. De igual modo, las economías recientemente industrializadas del Asia Oriental orientadas a la exportación, crecieron más velozmente que aquéllas de América Latina orientadas hacia la sustitución de importaciones.

Segundo, entre las medidas más esenciales y eficaces que los gobiernos pueden adoptar para ayudar a las empresas a crear una base de conocimientos existente adecuada, están el ampliar y el mejorar la calidad de la educación en todos los niveles. La expansión rápida de la educación en el estadio de imitación por duplicación, permitió que las empresas coreanas tuvieran una base de conocimientos existente adecuada para el aprendizaje tecnológico. Sin embargo, la falta de una inversión suficiente para mejorar la calidad de la educación en los estadios ulteriores fue un serio obstáculo para el aprendizaje tecnológico. Existe un gran número de estudios en los que se llega a

la conclusión de que la cantidad y la calidad de la educación en una economía son elementos decisivos a la hora de establecer si esa economía está acortando la distancia que la separa de los países avanzados (Baumol, Blackman y Wolff, 1991).

Tercero, una política liberal en materia de éxodo de competencias en el primer estadio de la industrialización puede beneficiar a largo plazo a los países en desarrollo. Si no se permite emigrar a los escasos científicos e ingenieros a los países avanzados antes o durante el primer estadio de la industrialización, muchos de ellos no encontrarán en su país los trabajos adecuados en los que poder desarrollar su competencia técnica. En el decenio de 1960, el éxodo de competencias fue un problema para el país, pero posteriormente los científicos e ingenieros coreanos acabaron regresando a su país y desempeñaron un papel crucial a la hora de conocer a fondo las tecnologías intermedias y emergentes.

Cuarto, el contar con una amplia base de conocimientos tácitos es un requisito importante para que se pueda dar un aprendizaje tecnológico eficaz. Las tres principales maneras de crearla son las siguientes: (1) la contratación de recursos humanos de alto nivel, (2) la transferencia de tecnología extranjera y (3) el aprendizaje mediante la investigación por medio de la I+D interna. La experiencia coreana muestra que esos tres elementos son complementarios y no excluyentes. La incorporación de un mayor conocimiento tácito a través de la contratación de científicos de alto nivel permite a una empresa poner a prueba las nuevas tecnologías en el marco de la I+D interna y, a su vez, fortalecer su posición en las negociaciones de transferencia de tecnología.

Quinto, la estrategia de transferencia de tecnología tiene que evolucionar con el paso del tiempo a medida que progresa la industrialización. Cuando la tecnología está madura y es simple, las empresas locales pueden emplear la ingeniería inversa con los productos extranjeros. Cuando la tecnología está por encima de la capacidad de las empresas locales, éstas pueden apoyarse en la obtención de licencias para la explotación de patentes extranjeras e intentar asimilar la tecnología importada en el menor tiempo posible. Cuando la tecnología se encuentra en un estadio intermedio, las empresas locales pueden intensificar la I+D interna para reforzar su posición en las negociaciones de transferencia de tecnología. Cuando se trata de una tecnología emergente, las empresas pueden establecer puestos destacados de I+D en los países adelantados y utilizar las fusiones y adquisiciones de empresas y las alianzas estratégicas para obtener acceso a las tecnologías avanzadas.

Sexto, la intensificación de esfuerzo es otro requisito para que pueda darse el fortalecimiento de la capacidad tecnológica necesario para la industrialización. La experiencia coreana muestra que las crisis provocadas por el establecimiento de objetivos ambiciosos es una de las vías más eficaces para lograr la intensificación de esfuerzo, tanto de la persona como de la organización. El esfuerzo de alta intensidad y centrado en un objetivo como medio para resolver las crisis impulsa a los miembros de las empresas a buscar de forma activa información sobre nuevas vías para responder a las crisis y para acelerar la conversión y acumulación del conocimiento en el plano individual. Ese proceso intensifica también las interacciones entre los miembros de las empresas, dando lugar a la conversión y acumulación de conocimientos en la organización.

Séptimo, las políticas tecnológicas del sector público deben evolucionar con el tiempo para dar respuesta a los cambios que se producen en el mercado y en la tecnología. Por ejemplo, el sistema coreano de innovación nacional funcionó con eficacia en el estadio de imitación por duplicación,

pero se hizo problemático en los estadios posteriores porque el Gobierno no logró modernizar el sistema de educación nacional y reconvertir la estructura industrial en respuesta a los cambios que se habían producido en el entorno económico (Kim, 1993; Kim, 2000).

Octavo, la experiencia coreana indica que el papel de los institutos públicos de investigación debería evolucionar con el tiempo. En los primeros años de la industrialización, deberían prestar asistencia técnica al sector privado para fortalecer su poder negociador en la transferencia de tecnología y permitirle asimilar y adaptar rápidamente la tecnología importada. También deberían formar un elevado número de investigadores con experiencia, los cuales podrían desempeñar en el futuro un papel crucial en la I+D industrial del sector privado. Es decir, los institutos no deberían evaluarse en términos de número de patentes obtenidas o de resultados de investigación de importancia logrados y transferidos al sector privado. Más bien habrían de ser evaluados en términos de la ayuda prestada al sector privado para transferir tecnología extranjera a bajo coste y para la eficaz asimilación y mejora de la misma. Es entonces, a medida que la industrialización avanza hacia el estadio de innovación, cuando el papel que han de desempeñar los institutos puede delimitarse mejor frente al rápido aumento de la investigación universitaria y de las actividades empresariales de I+D.

Algunas de las experiencias coreanas son difíciles de emular por otros países en desarrollo por los cambios radicales que ha experimentado el entorno económico internacional. Así, en primer lugar, el nuevo orden del comercio internacional regido por la Organización Mundial del Comercio (OMC) dificultará el que los países en desarrollo puedan proteger el mercado nacional para el aprendizaje de las industrias nacientes. Además, como consecuencia de las presiones recientes en el marco de la OMC para liberalizar el mercado nacional a los productos, servicios e inversiones, los países en desarrollo experimentarán más dificultades para mantener su independencia frente a las multinacionales que las que tuvo que afrontar la República de Corea.

En segundo lugar, la protección de los derechos de propiedad intelectual impedirá la imitación por duplicación de las tecnologías extranjeras. La ingeniería inversa de los productos extranjeros con el fin de llevar a cabo la imitación por duplicación será más difícil y costosa para los países en desarrollo que lo que lo fue para la República de Corea en los decenios de 1960 y 1970. China, por ejemplo, tiene que hacer frente a una presión enorme por parte de los Estados Unidos de América para que respete los derechos de propiedad intelectual, presión a la que el Japón, la República de Corea y Taiwan no se vieron sometidas en el estadio inicial de su industrialización.

Traducido del inglés

Nota

¹ La investigación necesaria para la realización de este artículo fue respaldada por la Suam Foundation, Seúl, República de Corea.

Referencias

BAUMOL, W. J., BLACKMAN, S. A. y WOLFF, E. N. 1991. *Productivity and American Leadership* [Productividad y liderazgo americano], Cambridge, MA: MIT Press.

- COHEN, W. M. y LEVINTHAL, D. A. 1990. "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation" [Capacidad de absorción: una nueva perspectiva sobre el aprendizaje y la innovación]. *Administrative Science Quarterly* 35, 128-152.
- FREEMAN, C. y HAGEDOORN, J. 1993. "Globalisation of Technology," [La mundialización de la tecnología]. Documento de trabajo 92-013, Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology.
- GROSSMAN, G. M. 1991. *Innovation and Growth in the Global Economy* [Innovación y crecimiento en la economía mundial], Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- HARBISON, F. y MYERS, C. A. 1964. *Education, Manpower, and Economic Growth* [Educación, recursos humanos y crecimiento económico], Nueva York: McGraw-Hill.
- HENTGES, H. A. 1975. "The Repatriation and Utilization of High-Level Manpower: A Case of the Korea Institute of Science and Technology" [La repatriación y utilización de recursos humanos de alto nivel. El caso del Instituto Coreano para la Ciencia y la Tecnología]. Tesis doctoral, Johns Hopkins University.
- HOBDAY, M. 1995. *Innovation in East Asia: The Challenge to Japan* [Innovación en el Asia Oriental: el reto para el Japón], Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.
- KIM, L. 1993. "National System of Industrial Innovation: Dynamics of Capability Building in Korea" [El sistema nacional de la innovación industrial: la dinámica del fortalecimiento de capacidades en la República de Corea] en Richard R. Nelson (comp.), *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Nueva York: Oxford University Press, pág. 357-383.
- KIM, L. 1997a. *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning* [De la imitación a la innovación: la dinámica del aprendizaje tecnológico en la República de Corea], Boston: Harvard Business School Press.
- KIM, L. 1997b. "The Dynamics of Samsung's Technological Learning in Semiconductors" [La dinámica del aprendizaje tecnológico de Samsung en materia de semiconductores], *California Management Review*, 39, 86-100.
- KIM, L. 1998. "Crisis Construction and Organizational Learning: Capability Building in Catching-up at Hyundai Motors" [La creación de crisis y el aprendizaje organizativo: el fortalecimiento de capacidades en la puesta al día realizada en Hyundai Motors], *Organization Science*, 9, 506-521.
- KIM, L. 1999. "The Impact of the Asian Crisis on National Innovation System: An Initial Assessment in Korea" [La repercusión de la crisis asiática en el sistema de innovación nacional: una primera evaluación de la República de Corea]. Ponencia presentada en la International Conference on Public Policy in the 21st Century celebrada entre el 5 y el 7 de septiembre de 1999 en Singapur.
- KIM, L. 2000. "Korea's National Innovation System in Transition" [La transición en el sistema de innovación nacional de la República de Corea], en Linsu Kim y Richard Nelson (comps.), *Technology, Learning and Innovation: The Experiences of Newly Industrialising Economies*, Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- KIM, L. y DAHLMAN, C. J. 1992. "Technology Policy for Industrialization: An Integrative Framework and Korea's Experience" [La política tecnológica para la industrialización: marco integrador y experiencia de la República de Corea], *Research Policy*, 21, 437-452.
- NONAKA, I. 1988. "Creating Organizational Order Out of Chaos: Self-Renewal in Japanese Firms" [La creación del orden organizativo a partir del caos: autorrenovación en las empresas japonesas], *California Management Review*, 30, 57-73.
- NONAKA, I. y TAKEUCHI, H. 1995. *The Knowledge-Creating Company* [La empresa creadora de conocimiento], Nueva York: Oxford University Press.

- PACK, H. y WESTPHAL, L. E. 1986. "Industrial Strategy and Technological Change" [Estrategia industrial y cambio tecnológico], *Journal of Development Economics*, 4, 205-237.
- WATANABE, T. 1985. "Economic Development in Korea: Lessons and Challenges" [El desarrollo económico en las República de Corea: lecciones y retos], en T. Shishido y R. Sato (comps.), *Economic Policy and Development: New Perspectives*, Dover: Auburn House.

Nota biográfica

Jean Baptiste Meyer es investigador principal en el Instituto de Investigación para el Desarrollo (París, Francia) y coordinador de proyectos internacionales sobre la migración altamente cualificada y diásporas. Correo electrónico: jmeyer@bond.ird.fr

David Kaplan es profesor y Director del Centro de Investigación de Políticas Científicas y Tecnológicas de Ciudad del Cabo (Sudáfrica). Correo electrónico: kaplan@hiddingh.uct.ac.za

Jorge Charum es profesor de la Universidad Nacional de Colombia y analista principal del Observatorio de Ciencia y Tecnología (Bogotá). Correo electrónico: jcharum@openway.com.co jcharum@unete.com

El nomadismo científico y la nueva geopolítica del conocimiento

Meyer Jean Baptiste, Kaplan David, Charum Jorge

El problema de la hiper-movilidad y la noción de nomadismo

Los inicios del siglo XXI se suelen asociar a la llegada de una sociedad mundial del conocimiento. En esta sociedad, el conocimiento, convertido en el principal factor de producción de la nueva economía, debe fluir con más libertad que nunca, sin limitaciones nacionales. Así pues, las personas, en las que reside el conocimiento principalmente aunque no de forma exclusiva, circularán cada vez más en respuesta a la dinámica del mercado internacional de capacidades. Actualmente, se puede apreciar el temor de que este fenómeno repercuta negativamente en los países que están luchando por mantener su capacidad de desarrollo y crecimiento endógenos. Es ésta una cuestión cada vez más compleja y que preocupa en todo el mundo. En los decenios de 1960 y 1970, se producía en el mundo poscolonial la fuga de cerebros Sur-Norte entre los científicos e ingenieros, con desarrollo rápido pero desigual. A finales del decenio de 1980 y principios del de 1990, el interés se desplazó hacia el éxodo de investigadores Este-Oeste al final de la Guerra Fría y el desmoronamiento del aparato científico, tecnológico e industrial en los estados del Este. En la actualidad, todos los medios de comunicación hablan de la emigración cualificada que procede de todo tipo de lugares y se dirige a numerosos centros de atracción, señalando la cantidad de categorías laborales afectadas y expresando la preocupación existente por la extensión de este fenómeno. Algunos ejemplos de casos recientes y a veces muy conocidos que dan una idea de la diversidad de situaciones, son desplazamientos como los siguientes: intelectuales colombianos a los Estados Unidos, España y Australia; médicos cubanos a Sudáfrica; enfermeras sudafricanas al Reino Unido y Nueva Zelanda; estudiantes del postdoctorado de Nueva Zelanda a Canadá; investigadores canadienses a los Estados Unidos; financieros franceses al Reino Unido y jóvenes científicos, a los Estados Unidos; ingenieros de Hong Kong a Australia, Estados Unidos y Reino Unido; técnicos de la información de la India a Alemania y Estados Unidos; psicoanalistas argentinos a México, España y los Estados Unidos, etc.

La migración de competencias ha pasado a ser multilateral y policéntrica, aunque no del todo multidireccional, pues los flujos parecen ir siempre de los lugares menos desarrollados a los sitios más competitivos de la economía mundial del conocimiento. Y ya no se limita a los países de desarrollo relativamente bajo o a los que tienen problemas sociopolíticos concretos, si bien éstos siguen siendo factores influyentes, sino que se ha convertido en un problema tanto para las economías muy industrializadas como para las de mediano desarrollo y la preocupación va en aumento pues los Estados-Nación se dan cuenta de que sus propios ciudadanos capacitados se les están escapando. Las organizaciones intergubernamentales han visto en este fenómeno cierta analogía con la clara inestabilidad de los mercados financieros internacionales, a través del concepto de fuga de capital humano (Haque y Kim, 1994). La idea de la gran volatilidad del personal altamente capacitado que recibe ofertas interesantes y por eso es susceptible de cambiar su lugar de residencia de la noche a la mañana está cobrando auge. Las nuevas tecnologías de la información y comunicación parecen haber dotado al mercado con las herramientas precisas para un encuentro inmediato y transparente entre la oferta y la demanda a escala mundial. Los costes de transacción que, junto a otras cosas, limitaban drásticamente la fluidez de las contrataciones y entrevistas, parecen ahora inexistentes debido a las nuevas condiciones del mercado (Stewart 1997). Los lugares con baja intensidad de conocimiento tienen motivos para temer que pueda producirse una “sangría” de sus talentos al no estar ya refrenados por cuestiones de fronteras nacionales ni por vínculos sociales, organizativos o de otro tipo. El temor va en aumento a medida que crece la presión ejercida por la demanda de trabajo cualificado que genera la nueva economía. La situación próxima al pleno empleo, junto a determinadas carencias en actividades de alta tecnología, hace que aumente la preocupación por las tendencias inflacionarias estructurales, los riesgos de sobrecalentamiento y la necesidad de enfriar la economía abriendo la válvula de la inmigración, especialmente de personal altamente cualificado.

La movilidad se considera un fenómeno normal en el caso de los científicos e ingenieros. Sus trabajos, acciones e influencias han configurado en gran medida los modelos de la actual sociedad mundial del conocimiento y de la economía basada en el conocimiento. Se produce así una continuidad en el nomadismo tradicional de las personas dedicadas a la investigación y, hoy la ampliación de este fenómeno a otras esferas de actividad. Parece que la nueva forma de producción del conocimiento ha difuminado las fronteras entre las diversas actividades y la investigación ha invadido muchas de estas esferas (Gibbons et al 1994). En consecuencia, no es de extrañar asistir a la generalización actual de estas conductas profesionales nómadas. En cierta manera, lo que hacen es emular y extender una tendencia inherente al mundo científico. Ésta es la razón por la que la observación de la movilidad en la comunidad científica puede ofrecer una perspectiva histórica, una serie de pruebas antropológicas y de datos cuantitativos, así como un cuerpo conceptual y teórico que nos ayude a entender lo que está pasando con la movilidad de los actores en la sociedad mundial del conocimiento. Por lo tanto, los siguientes apartados se centrarán en los científicos e ingenieros, pero también circunstancialmente ensancharán su punto de mira a otras categorías de actividades.

Se ha escogido el concepto de nomadismo por razones significativas. Las conductas nómadas conllevan una movilidad espacial, social e intelectual, como señaló Gilles Deleuze en su obra filosófica. Es sabido que los nómadas no son entidades aisladas, sino que en general forman sociedades muy complejas, siguen rutas aprendidas, interactúan con los contextos problemáticos por los que pasan, a veces de manera competitiva; suelen volver a sitios en los que ya han estado... Es este enfoque de la movilidad, que abarca la inculturación, el aprendizaje, los procesos

iterativos y los vínculos colectivos, el que resume la noción de nomadismo, lejos del enfoque que considera a los elementos del género humano como individualidades post-sociales, sin cohesión, fragmentados, que actúan gobernados por las fuerzas del mercado mundial. Este enfoque no pretende de ninguna manera comparar a los grupos científicos actuales con las sociedades nómadas tradicionales, sino que emplea el concepto de nómada más bien como una forma de empezar a tomar en consideración la geopolítica que configura los flujos de actores que mantienen lo que se ha convertido hoy en día en la principal fuente de desarrollo. Los apartados siguientes ofrecen una perspectiva histórica, unas pruebas empíricas, y unas referencias conceptuales sobre lo que esto significa en la economía mundial del conocimiento. En la última parte veremos un producto significativo del nomadismo (la formación de diásporas científicas) para resaltar las posibilidades de configurar de nuevo los flujos con miras a lograr una mejor distribución en todo el mundo de las capacidades de conocimiento.

La movilidad de los científicos y las raíces de la ciencia

Existe la idea comúnmente aceptada de que la ciencia se basa por naturaleza en la “circulación de hombres e ideas” (Gaillard & Gaillard 1997). De hecho, quizá no sea el conocimiento científico en sí, sino más bien los científicos como profesionales de una actividad institucionalizada en cierta manera, los que son proclives a la movilidad. No consta que los herreros de África Occidental, los sacerdotes cosmológicos mayas o los curanderos xhosas tradicionales, todos ellos depositarios de avanzados conocimientos así como de poderes religiosos, hayan traspasado las fronteras de sus pueblos. Sin embargo, todo cambia en cuanto aparece la especialización, que trae consigo una división de tareas más compleja, y cuando la acción espiritual se separa intencionadamente de la producción de conocimientos. Esta situación, en la que los productores de conocimientos tienen un lugar determinado, un puesto y una consideración en la sociedad, constituye una de las principales diferencias entre la ciencia moderna y el saber indígena (Horton y Finnegan 1973). Cuando anteriormente ocurría esto con científicos e ingenieros, se asociaba generalmente con desplazamientos geográficos (Dedijer 1968). El periodo helenístico (del s. IV al s. I a. C.) es un buen ejemplo de esto. Los grandes científicos epónimos (Euclides, Arquímedes, Euxodes de Cnide, Apolonio de Perga, Eratóstenes de Cirene), se extendieron por toda la cuenca mediterránea y parece que llegaron hasta Alejandría. Esta ciudad era el lugar de mayor intensidad de conocimiento, con todo tipo de equipamiento y materiales (entre otros, la famosa biblioteca) que atraían a los talentos. Además de estos elementos estructurales, se había convertido en el centro de reunión, una especie de foro en el que el conocimiento y la práctica se habían depositado, acumulado e intercambiado, lo que aumentaba su poder de atracción. Se puede considerar que era el centro intelectual de una civilización que estaba ya bastante mundializada. En efecto, Asia, Europa y África se entrecruzaban en ella a través de las diásporas griegas, posteriores a las fenicias, tras cuatro siglos de su colonización cultural y comercial durante los periodos arcaico y clásico (800-402 a. C.) y después de la unificación política llevada a cabo por las expediciones macedonias de Filipo y Alejandro en los decenios siguientes. En este remoto ejemplo se puede ver cómo las tendencias a desplazarse y concentrarse están intrínsecamente unidas al desarrollo de la ciencia, como si fueran las dos caras de una misma moneda, y cómo difícilmente se puede disociar este fenómeno del contexto en el que se produce.

A partir de esa época se suceden los ejemplos de científicos viajeros. La importancia y significación de esta movilidad han cambiado, pero durante el siglo XX ha habido una tendencia

hacia la transnacionalización de la ciencia en la que la migración de los investigadores es sólo un elemento (Crawford, Shinn y Sorlin 1992, Elzinga y Landström 1995).

Existe un condicionante fundamental para la movilidad de los científicos que explica por qué apareció en la antigüedad, en cuanto emergió la ciencia institucionalizada. Una de las normas básicas de la institución científica es la universalización (Merton 1973) y ésta es la base para el nomadismo de los científicos. Una vez más, es necesario considerar lo que diferencia el conocimiento local e indígena de la ciencia moderna mundial. Según Robin Horton, la diferencia principal es la apertura. Mientras que el conocimiento indígena no se abre a la confrontación con las formas exteriores de pensamiento, por el contrario, la ciencia se basa en la exigencia de que cada afirmación sea probada y validada por otros. Horton se acerca a la filosofía de la ciencia de Popper para mostrar los mecanismos de competencia/selección/refutación/validación que actúan en la dinámica profunda de la ciencia y son necesarios para mantener su orientación al universalismo (Horton y Finnegan 1973). Es decir, la apertura a la confrontación es una garantía (aunque siempre temporal y precaria) de innovación y de calidad, en resumen, de resultado óptimo. Es forzoso señalar el paralelismo que se puede establecer entre la mundialización actual de la economía y su retórica asociada de excelencia/rendimiento.

El que el proceso de universalización exija el desplazamiento de los propios científicos se debe a la complejidad del conocimiento. Sus elementos codificados (por ejemplo, ecuaciones, resultados experimentales, etc.) son de fácil propagación, pero la mayoría de las prácticas necesarias para llegar a ellos y también para reproducirlos y aplicarlos a finalidades determinadas, depende del conocimiento tácito incorporado en los seres humanos. No siempre es necesario que sus desplazamientos sean de larga duración, muchos intercambios científicos son a corto plazo, desde la participación en reuniones internacionales, a un año sabático en un país extranjero. Sin embargo, como han demostrado exhaustivamente los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, la necesidad de un entendimiento profundo requiere con frecuencia una inculturación, formación y prácticas colectivas, y por lo tanto, una estancia más prolongada fuera del medio de origen. Inevitablemente, los flujos siguen modelos de distribución del conocimiento en todo el mundo. Los lugares con mayor intensidad de conocimiento (que fijan los estándares y paradigmas, ofrecen medios experimentales, garantizan la difusión y forman y contratan a los que llegan de fuera) conforman la orientación de los intercambios. Ésta es la razón por la que la mayor parte de la emigración a largo plazo, o lo que se ha dado en llamar éxodo de competencias o “fuga de cerebros”, se refiera en realidad a personas de un país de origen que han llegado a un país de acogida en calidad de estudiantes y han realizado en él una carrera intelectual y profesional.

En las innovaciones tecnológicas opera la misma lógica. Como han puesto de manifiesto en los últimos decenios los avances en la economía del cambio tecnológico, el proceso de aprendizaje en las empresas industriales ha pasado a ser primordial. La adquisición y desarrollo del conocimiento relevante para la innovación no depende solamente de la información o de la transmisión de datos, modelos de diseño y planes, sino que requiere asimismo el desplazamiento de personas capaces de hacer en común las pruebas experimentales con los compañeros de equipo, comprobando paso por paso los cambios graduales y muchas otras acciones sucesivas que conducen a un producto final satisfactorio. La innovación tecnológica (el *locus* de la competencia en la sociedad mundial), igual que la ciencia básica, se basa en el conocimiento que

incorporado en los seres humanos y, por lo tanto, favorece también el desplazamiento y la concentración de personas para empresas colectivas.

El nomadismo normal y la fuga de cerebros

Desde el punto de vista histórico, si no ontológico, la ciencia y la tecnología se nutren de los desplazamientos de los que contribuyen a ellas sin tener en cuenta si estos desplazamientos se hacen para compartir, competir y/o colaborar. En general, se admite que esta circulación internacional de personas y competencias tiene efectos positivos pues se interpreta como una especie de fertilización que finalmente da lugar a una optimización cognitiva mundial. Éste era el argumento de los “internacionalistas” en el debate teórico sobre la fuga de cerebros en los decenios de 1960 y 1970, que afirmaban que el mercado internacional de trabajo asignaba recursos humanos adonde fueran más útiles y mejor remunerados. A esto se oponían los argumentos de que había muchos otros factores que desviaban la orientación de esta circulación, dando lugar así a atracciones desleales por parte del Norte. Pero nunca se han puesto en cuestión las ventajas de una circulación internacional y en general se admite que el nomadismo de los científicos redundaba en beneficio de la ciencia.

De hecho, desde los primeros tiempos de la ciencia en la cuenca mediterránea, parece que el desarrollo científico se ha visto enriquecido con la circulación de sus agentes humanos, que parecen haber alternado momentos de intercambio y formación en lugares centrales con otros de práctica independiente y enseñanza en lugares más periféricos. Por lo tanto, se producen movimientos alternativos de concentración y dispersión que conducen tanto a la práctica universal estable como al beneficio mutuo de las entidades sociales a las que pertenecen los científicos (universidades, ciudades, países, etc). En la práctica, el desplazamiento se considera negativo cuando es asimétrico, es decir, cuando la concentración excede a la dispersión y la redistribución. El ejemplo del gobierno francés en junio de este año es ilustrativo de las valoraciones positivas y negativas del nomadismo. Por un lado, el Ministro de Investigación Científica y Tecnología adoptó medidas, junto con sus colegas europeos, para aumentar la movilidad de los estudiosos en sus países. Por otro, un estudio detallado realizado por un comité especial del Senado señalaba el éxodo de competencias, sobre todo hacia Norteamérica. En el primer caso, se adopta la colaboración por medio de intercambios recíprocos mientras que en el segundo se señala un desplazamiento unilateral en beneficio exclusivo de una parte (la que lo recibe). Esto da una idea de las dos formas que existen de considerar la movilidad del personal altamente cualificado, a saber, la circulación y la fuga de cerebros.

La primera, en la que los desplazamientos pueden ser a corto, medio o largo plazo, ha cobrado últimamente un auge manifiesto (Cao 1996, Gaillard y Gaillard 1997, Johnson y Regets 1998, Mahroun 1999, Pedersen y Lee 2000) si bien sus principios no son nuevos en los estudios sobre la migración (Chapman y Prothero 1985). Estos estudios se basan esencialmente en el caso de los ciudadanos pertenecientes a los países asiáticos recientemente industrializados, que vuelven tras haber realizado estudios avanzados e incluso prácticas profesionales en el extranjero, señalando el beneficio que pueden obtener del intercambio, tanto el país huésped como el de origen, pues las personas altamente capacitadas, o agentes de conocimiento, que vuelven, hacen aportaciones significativas en los campos de tecnología punta poco desarrollados en su país de origen. No obstante, este enfoque hace hincapié en que estos retornos positivos son válidos para los Países Recientemente Industrializados con un sector tecno-industrial dinámico, capaz de capitalizar la

influencia, pero no para cualquier país, si bien tiende a mostrar que la circulación (incluso en una relación Norte-Sur asimétrica) puede ser positiva a no ser que haya un flujo claramente unilateral de uno a otro.

Lo que constituye una dinámica normal y positiva de la ciencia y la tecnología, por ejemplo, los intercambios de agentes de conocimientos, se puede convertir en una dinámica negativa y perversa, si el volumen y la índole de la movilidad cambian bruscamente. Esto es lo que ocurrió tras la Segunda Guerra Mundial (Oteiza 2000). La ciencia ha pasado a ser una institución de masas, que requiere equipamientos muy caros y grandes inversiones y genera beneficios, y cada vez va estando más relacionada con intereses industriales, económicos y políticos. Del mismo modo, el desarrollo tecnológico se ha convertido en la principal diferencia entre los que tienen poder y los que no lo tienen. Las actividades científicas y tecnológicas han empezado a responder a la relación Centro- Periferia típica del imperialismo capitalista. Así surgió el enfoque de la fuga de cerebros para referirse a los flujos masivos de personas capacitadas desde los países en desarrollo hacia los países industrializados. Este enfoque se correspondía claramente con los esquemas bipolares del mundo en aquel momento, durante la Guerra Fría y con la dialéctica Norte-Sur de desarrollo/subdesarrollo. Por supuesto, desde el punto de vista de los teóricos de la dependencia, cuanto más se desarrollara el Norte, más dependiente y pobre sería el Sur debido a la acumulación diferencial de capital que favorece la concentración en vez de la redistribución.

El capital humano (cuyos principios teóricos emergentes estaban entonces ofreciendo a los enfoques de fuga de cerebros los argumentos adecuados) no se diferenciaba del capital material o económico. Su enorme expansión y movilización en los países muy industrializados atraía partes de este capital a medida que se iba acumulando en el Sur, frenando de inmediato las inversiones en educación y creación de competencias hechas allí por los países en desarrollo. El nomadismo tradicional de los científicos e ingenieros era así recogido a través de las fuerzas macroscópicas subyacentes que dirigen los flujos de los recursos humanos. El Centro actuaba como un imán atrayendo a los numerosos aunque diseminados talentos de la periferia.

Las consideraciones más bien simplistas y mecanicistas de este enfoque han sido muy criticadas con posterioridad, sobre todo por desdeñar determinados aspectos de las actividades científico-tecnológicas, destacados por la sociología de la ciencia y la tecnología desde finales del decenio de 1970, en los que la comunidad, las asociaciones socio-cognitivas y redes que actúan a escala micro y media no parecen estar respondiendo realmente a las macro fuerzas según la perspectiva centro-periferia (Meyer y Charum 1995, Meyer 2000). Con todo, el enfoque de la fuga de cerebros ha ofrecido el primer marco conceptual para reflexionar sobre la geopolítica de estos flujos de agentes del conocimiento y sus repercusiones éticas.

Las asimetrías en el nuevo sistema mundial

El enfoque que considera que todo esto obedece a un sistema mundial se basa en el marco centro-periferia (Wallerstein 1978), dibujando un mapa más complejo del planeta en el que las relaciones entre diversas entidades y los consiguientes flujos entre ellas no están configuradas por un solo centro sino más bien por varios centros, cada uno con fuerza, alcance e intensidad distintos. Este enfoque también se distancia conceptualmente del determinismo o prominencia económicos propios del discurso teórico de la dependencia y da mucha importancia a la influencia del conocimiento en la orientación de los flujos. Este enfoque multicéntrico en el

campo de las relaciones científico-tecnológicas internacionales hace hincapié en el hecho de que éstas están organizadas jerárquicamente (Altbach 1995, Choi 1995). Algunos países son más poderosos que otros en la producción, divulgación y uso del conocimiento. Esta jerarquía estructura la movilidad de los científicos e ingenieros aunque para entender esto a escala mundial conviene hacer algunas observaciones.

Tres ejemplos muy recientes sacados de diferentes continentes son muy ilustrativos de esta jerarquía:

- “Los emigrantes contribuyen a contrarrestar la crisis de fuga de cerebros de Canadá” (*Nature*, 8 de junio de 2000, volumen 405, nº 6787); aquí, los extranjeros, sobre todo procedentes del Tercer Mundo, llenaron los huecos dejados por los investigadores canadienses que se iban a Estados Unidos;
- Los jóvenes investigadores franceses que “...tienen un doctorado tienen que viajar” (*Fast, French Advances in Science and Technology*, 6 de julio de 2000, nº 185), lo que pone de manifiesto la preocupación de la comunidad científica por la emigración de los post-doctorados a los Estados Unidos, aun reconociendo que Francia estaba acogiendo también a gran cantidad de personal altamente cualificado procedente de otros países;
- “ El éxodo de médicos de Sudáfrica de seiscientos millones de rands” (*Cape Argus del South African Medical Journal*, 22 de diciembre de 1999), que mide el alcance de la pérdida económica de médicos de este país en beneficio de Nueva Zelandia, aunque recibe centenares de médicos cubanos al mismo tiempo.

Estos ejemplos muestran cómo funciona el sistema jerárquico de varios niveles. Los países pobres como Cuba (aunque con un nivel alto de desarrollo educativo) pueden perder su personal en beneficio de otros de renta media (en términos del Banco Mundial) como Sudáfrica. Éste último a su vez puede experimentar una fuga de cerebros en el mismo ámbito en beneficio, no de un centro mundial, sino de un país semi-periférico en el sistema mundial (en este caso, Nueva Zelandia). Francia, que pertenece a la Tríada hegemónica (América del Norte, Europa Occidental y Japón) en lo que respecta a competencias de C y T y que constituye ella misma un polo de atracción para los estudiantes y profesionales africanos, expresa su preocupación por la pérdida de competencias en beneficio de otro miembro de la Tríada, Estados Unidos. Éste último también está experimentando turbulencias internas con Canadá que tiene que compensar las pérdidas en beneficio de su vecino por medio de aportaciones externas.

Así pues, la emigración de competencias no se limita ya a un cierto tipo de país y la recepción de éstas a otro tipo, sino que en su lugar, los países envían y reciben talentos simultáneamente. Los medios de comunicación se hacen eco de lo inestable e impredecible de esta circulación que se ha hecho caprichosa e indisciplinada. Uno de ellos se refiere a esta cascada de migración en el campo de la tecnología de la información en el que los especialistas asiáticos pueden ser apartados de la India hacia Malasia, de Malasia a Taiwán o Estados Unidos, como a “un alegre tiovivo”, (Leslie Stones en *Business Day*, 5 de mayo de 2000). Ciertamente, parece un juego estratégico en el que una parte intenta pasar a otra el coste de la migración obteniendo del nivel inferior el insumo para llenar los huecos que los emigrantes han dejado en sus propias competencias básicas. Sin embargo, los flujos no ocurren aleatoriamente. La cascada tiene una inclinación determinada que da una orientación geopolítica a los flujos, desde los lugares más bajos de desarrollo a los más altos, correspondiendo en general a la intensidad de conocimiento

en estos lugares. En el punto más alto de esta jerarquía se encuentra el único país que mantiene un saldo positivo con todos los demás en lo referente a equilibrio de migración de personal cualificado, es decir, los Estados Unidos de América. En el punto más bajo están los países en los que las instituciones e industrias intelectuales son tan débiles y reducidas que no pueden retener a la mayoría de sus talentos. En el encuentro de la UNECA (Conferencia Económica de las Naciones Unidas para el África) y la IOM (Organización Internacional para las Migraciones) celebrado en Addis Abeba sobre “La fuga de cerebros y la creación de competencias en África” se presentaron muchos casos negativos para estos países. Por lo tanto, incluso aunque ya no exista un único centro de atracción ni una situación periférica estándar, el nuevo nomadismo de científicos e ingenieros sigue respondiendo inequívocamente a las relaciones asimétricas en las que lo principal es el poder y la riqueza.

Las competencias son cada vez más importantes para el éxito económico. La adquisición de competencias humanas es vital para garantizar la competitividad no sólo en las áreas económicas nuevas, sino incluso en actividades más tradicionales como las industrias de extracción y manufactura. Por ejemplo, el factor conocimiento en los productos manufacturados ha pasado de 20% en el decenio de 1950 a 70% en la actualidad (Stewart 1997), por lo que disponer de energía o materias primas a bajo coste o de mano de obra barata sin cualificar es cada vez menos importante. La incapacidad de retener a las personas cualificadas reduce drásticamente la capacidad de los países en desarrollo, socavando sus posibilidades de competir incluso en los sectores tradicionales. En los países en desarrollo y en proceso de industrialización, además de la generalizada escasez de intercambios extranjeros, la escasez de personas cualificadas constituye cada vez más una limitación que imposibilita los altos índices de expansión económica. Además, la alternativa de la emigración permite que las categorías con cualificaciones que tienen demanda internacional, tengan un poder considerable de negociación, intensificando todavía más las desigualdades en los países en desarrollo.

Por otra parte, la emigración de personas altamente cualificadas va acompañada generalmente de la exportación de una considerable riqueza privada. Se cree que África subsahariana, que ha visto la emigración de amplios sectores de sus clases medias y capacitadas, tiene en la actualidad aproximadamente 34% de su dinero privado en el extranjero (cf. Kaplan, Meyer y Brown 1999).

La migración de personas cualificadas contribuye a aumentar las desigualdades, tanto entre unos países y otros como dentro de cada país, lo que constituye un rasgo característico de la mundialización. Al mismo tiempo, las desigualdades entre los países fomentan y mantienen los procesos de migración que responden a las diferencias crecientes en la remuneración de competencias entre el mundo desarrollado y el mundo en desarrollo.

Los intermediarios y los canales de la movilidad

La circulación en todo el mundo de personas altamente capacitadas se suele considerar como un fenómeno colateral de la mundialización, un producto inevitable de la internacionalización del mercado de trabajo. Parece como si estuviera fuera del control de las entidades y de los estados. De hecho, la situación real es muy distinta. Muchos países de la OCDE han estado implícita o explícitamente promoviendo enfoques y políticas de inmigración selectiva en los últimos decenios (OCDE 1998). Esto se ha hecho más evidente últimamente porque la demanda de recursos humanos extranjeros altamente cualificados ha aumentado de manera significativa. Las

previsiones de las tendencias del mercado han dado lugar a una gran demanda de competencias en los países muy industrializados, por lo que han puesto en marcha unas medidas jurídicas y técnicas para facilitar la contratación de talentos extranjeros. El congreso de los Estados Unidos ha aumentado el número de autorizaciones de visados para trabajadores cualificados en determinadas áreas. Los consejeros de la Agencia Nacional para el Empleo, de Francia, (ANPE) han recibido instrucciones claras para facilitar la contratación de extranjeros en tecnologías de la información. Los servicios de inmigración de Australia han creado páginas web excelentes y han puesto funcionarios especializados en sus embajadas con la misma finalidad. Más concretamente, la Oficina Canadiense de Comercio e Inversión en Sudáfrica ha emprendido un proyecto de investigación para aprovechar el éxodo bien conocido de este país. Por lo tanto, los flujos son cualquier cosa menos el resultado natural de las fuerzas de la oferta y la demanda. La mano que maneja estos intercambios es bastante visible pues se trata de un espacio competitivo (más que de un mercado libre dejado a sus propios mecanismos) en el que los actores estatales tienden a canalizar hacia sus países los flujos de los nómadas reales o potenciales para su establecimiento temporal o permanente.

Los actores estatales implicados suelen trabajar codo con codo con empresas privadas, oficinas de contratación y de caza de cerebros, cuya finalidad es ofrecer a sus clientes las competencias que necesitan. Curiosamente esto ocurre frecuentemente en el sector de la tecnología de la información, en el que se creía que Internet y otros procedimientos de comunicación por ordenador habían eliminado del mercado la intervención humana y/o social, despojando supuestamente la relación entre la oferta y la demanda de todo intermediario. Los objetos de conocimiento en consideración (en su mayor parte, *software* y bases de datos) son, en verdad, bastante uniformes pues han sido configurados por unos pocos procedimientos técnicos y estandarizados para los procesos lo que que ha llevado a su difusión como productos innovadores que responden a la lógica de aumentar ingresos. Se podría pensar que los agentes de este conocimiento podrían ser contratados exponiendo simplemente sus supuestas competencias codificadas en un espacio público (un espacio virtual, como una página web, por ejemplo) que los demandantes de estas capacidades verían y contratarían. Pero no es así, como demuestra la evidencia. Aunque los intercambios profesionales electrónicos han aumentado de manera espectacular, no han sustituido la intervención humana sino que solamente desplazan esta intervención. Los intermediarios ya no se limitan a poner en contacto la oferta con la demanda, sino que participan directamente en la definición y expresión de estas necesidades y ofertas. En Silicon Valley la función de las asociaciones profesionales, así como las de las agencias especializadas, ha pasado a ser crucial para garantizar que la oferta se corresponda con la demanda, no en una relación inmediata, sino más bien en un encuentro creativo, planeado y estructurado (Benner 2000).

La movilidad actual de las personas altamente cualificadas es cualquier cosa menos el simple resultado del tira y afloja que actúa a escala mundial. Especialmente existen muchos actores intermediarios y mediadores (humanos y no humanos) que posibilitan las transferencias. Lo que la mundialización puede estar cambiando fundamentalmente es la función y el número de estos mediadores, que están proliferando y diversificándose, en la misma proporción que las oportunidades de desplazamientos potenciales. Pero las condiciones en las que la gente se desplaza de un lugar a otro son muy diferentes según los tipos de trabajo. Mientras algunos actores dan muestras de una gran autonomía, otros dependen mucho más de las condiciones que se les ha ofrecido y estas variaciones a su vez dependen del tipo de trabajo. Esto se ve cuando se

estudian en profundidad las historias de los migrantes que muestran las trayectorias personales o los itinerarios que han seguido. Los científicos del sector de la investigación académica se mueven a través de redes bastante personales que se van forjando en reuniones tradicionales y se ponen en marcha con el tiempo, las afinidades intelectuales y el interés por determinados temas. La decisión de marcharse se toma después de una negociación directa entre el migrante en potencia y la entidad que lo acoge. Es una relación en la que predomina la confianza. Por el contrario, los técnicos de la información son mucho más proclives a ser empleados por una empresa especializada en la contratación, que se encarga de solucionar los requisitos administrativos (visados) y les garantiza unos ingresos incluso sin una contratación inmediata en el extranjero, y a menudo ofrecen un alojamiento provisional a la llegada, entre otras cosas. Por tanto esta relación en un principio tiene una base contractual de anonimato.

Entre estas dos situaciones tan distintas, hay toda una serie de circunstancias variables dependiendo de lo específico del trabajo en cuestión, la transportabilidad de las competencias, la situación de ese trabajo en el país de origen y el de acogida y las estructuras judiciales locales, así como las de tipo organizativo. Sin embargo, lo que parece claro es que los estudiosos académicos se desplazan en sus propias redes *ad hoc* en las que los contenidos cognitivos y contactos sociales anteriores son cruciales y dependen de las áreas y temas concretos en los que trabajan. Los ingenieros y técnicos de la información cuyas capacidades y conocimientos son menos específicos, más estándares o al menos más codificados en lo que respecta a la descripción y contenido del trabajo, son conducidos más a menudo por agentes institucionales de traslados, no necesariamente informados de los contenidos cognitivos implicados y que actúan en la transacción exclusivamente como intermediarios.

El nomadismo, una tendencia moderada de mundialización

Los datos cuantitativos sobre la migración de personas altamente cualificadas a escala mundial están muy fragmentados, por lo que es difícil hacer una valoración completa y definitiva del alcance del fenómeno. No obstante, analizando algunas cifras significativas, es posible descubrir algunas tendencias si bien hay que ser muy prudente para no sacar demasiadas conclusiones. Se emplearon datos relativos a Estados Unidos de América y Francia, dos de los mayores países destinatarios de estudiantes extranjeros y de personal altamente cualificado en C y T en su mayoría empresarios (Wagner 1998).

Los datos relativos a Estados Unidos de América son muy parecidos. Las cifras muestran un aumento grande en el número de científicos e ingenieros extranjeros durante los últimos decenios, muy superior al de las categorías de inmigrantes con baja o media cualificación. Sin embargo, entre todos los científicos e ingenieros que trabajan en Estados Unidos.

Los últimos estudios basados en diferentes fuentes, realizados con distintas orientaciones, y haciendo estimaciones distintas (Carrington y Detragiache 1998, Meyer y Brown 1999) señalan la gran cantidad de expatriados altamente cualificados que existe en el mundo. Esto cobra una especial importancia si se tiene en cuenta el origen de esta población. Se estima que actualmente al menos un tercio (300.000) de todos los científicos e ingenieros nacidos en un país en desarrollo trabaja en el Norte, en la Tríada (Meyer y Brown 1999). Su productividad en C y T, medida en publicaciones académicas y patentes de invención, es muy superior en los sitios en los que viven actualmente a la que hubieran podido desarrollar en sus países de origen debido a las condiciones

menos favorables. En consecuencia, la mayoría de la producción de C y T, procedente de personal formado en el Sur, se encuentra realmente en la actualidad en el Norte (Meyer y Brown 1999). Aunque la mayoría de los científicos e ingenieros nacidos en el Sur permanecen allí, la mayor parte de la producción de los investigadores nacidos y formados en el Sur está capitalizada en el Norte.

¿Está esta tendencia evolucionando en algún sentido concreto? ¿Es el nomadismo mucho más frecuente e importante de lo que solía ser? Las pruebas reunidas muestran que efectivamente hay un aumento, pero sólo de proporciones moderadas. En Francia, la proporción de inmigrantes altamente capacitados con respecto al número total de inmigrantes se duplicó durante el decenio de 1980 hasta alcanzar, a mediados del decenio de 1990, un nivel de 10% del total de extranjeros que entraron en el país. Sólo 40% de estos inmigrantes proceden de países clasificados como inmigrantes (la mayoría en desarrollo) y se dedican principalmente a trabajos intelectuales o artísticos, mientras que los inmigrantes altamente cualificados de otros países (principalmente del Norte) son el porcentaje de extranjeros comparado con el de nativos apenas ha cambiado (Burton y Wang 1999). Es decir, los Estados Unidos no dependen de los talentos extranjeros más que antes. El aumento de inmigrantes altamente capacitados es proporcional al crecimiento de las categorías laborales correspondientes.

Curiosamente, en esta población altamente capacitada, cuanto más relacionados están los trabajos con la investigación, más alto es el número de científicos e ingenieros extranjeros. La base de datos SESTAT de los NSF revela que en 1997, mientras que si sólo 12% de la población altamente capacitada era extranjera, el porcentaje de trabajadores extranjeros altamente cualificados dedicados a I y D alcanza 17%, 19% si se dedican sólo a investigación, y sobrepasa 20% si se dedican a investigación básica. También es muy elevado el número de personas procedentes de países del Sur, pero no se ha producido un aumento significativo en el decenio de 1990 (comparando los datos de 1993, 1995 y 1997) ni en términos absolutos ni relativos.

Lo que parecen indicar estas pruebas es que el nomadismo de la actual sociedad del conocimiento no es tan reciente como sugiere el discurso de la nueva economía basada en Internet, sino que viene existiendo desde el decenio de 1980 y está claro que sigue siendo más frecuente entre los científicos e ingenieros, y más aún entre la población que se dedica a la investigación, que en otras categorías altamente cualificadas. Esto es especialmente relevante para los países en desarrollo cuya “contribución” a este tipo de personal es significativamente alto. Por último, el impacto en los países en desarrollo es mucho mayor que en los muy industrializados por la sencilla razón de que lo que para éstos últimos es un flujo entrante proporcionalmente moderado, para los primeros es un flujo saliente importante, pues el volumen de sus respectivos personales de investigación es muy diferente. Sin embargo, es evidente que hay que hacer distinciones entre los países en desarrollo. La pérdida de unos millares de especialistas en *software* de las enormes promociones de la India no es algo tan dramático como la pérdida de unos centenares de médicos en Zambia, por ejemplo.

Otra cuestión es la volatilidad de la población altamente cualificada. ¿Cuántos talentos están de verdad cambiando de un sitio a otro? ¿Es que realmente no tienen tendencia a establecerse en un lugar? Antes, la respuesta a esta pregunta no era fácil de justificar con pruebas cuantitativas. Por lo tanto se dejaba para estudios de casos de trayectorias individuales, que no eran necesariamente representativos de todos los grupos de nómadas. Los recientes estudios sobre las diásporas han

proporcionado datos más sistemáticos y comparables, aunque, por ahora, sólo en relación con un reducido número de países. Los estudios de las diásporas de personas altamente cualificadas principalmente en Colombia y en menor medida Sudáfrica, muestran que los científicos e ingenieros expatriados prefieren claramente establecerse en un país extranjero que pasarse la vida cambiando de uno a otro. De los expatriados sudafricanos que han dejado permanentemente su país de origen, 80% se ha establecido en otro país definitivamente. La cifra en el caso de Colombia es 70%; el 7% ha vuelto a Colombia por un corto período y se ha vuelto al mismo país de acogida. Solamente 21% de los científicos e ingenieros expatriados ha ido a un tercer país (es decir, un país distinto de Colombia y de su primer país huésped), 7% a un cuarto y 1% a un quinto. Así pues, estos resultados muestran una relativa estabilidad de la población expatriada en cuanto a residencia. Teniendo en cuenta la alta cualificación de estos expatriados junto a su experiencia profesional, ello no es debido a falta de cualificación para otros trabajos. Los motivos parecen estar más bien en relación con sus situaciones socio-profesionales, pues están inmersos en redes extranjeras y en muchos casos desempeñan importantes responsabilidades en éstas. Estos puestos ejecutivos hacen que estén muy vinculados a sus países huéspedes, aunque ello no excluya desplazamientos de menor duración. Parece que estas personas también suelen viajar a su país de origen con una periodicidad media de una visita cada 2 ó 3 años por obligaciones o compromisos profesionales y también personales. Por lo tanto, en gran medida, el nomadismo de los científicos e ingenieros tiene que ver más con una situación de *amphibio culturalis* (Mockus Sivickas 2000) pues se mueven y actúan en dos contextos vitales diferentes, que con la imagen de un intelectual libre y vagabundo.

El nacimiento de las redes de diáspora intelectual

Esta situación vital de dualidad de muchos expatriados altamente capacitados, con una doble fidelidad e identificación, a su país natal por un lado y a su país huésped por otro, ha sido la base para la rápida emergencia de nuevas diásporas intelectuales, orientadas a la ciencia y la tecnología. En el decenio pasado ha tenido lugar la creación y desarrollo de una cifra no inferior a 41 redes de este tipo en 35 países (Meyer y Brown 1999). Estas redes son muy diversas pero sus finalidades y objetivos son esencialmente muy parecidos pues todas ellas pretenden fomentar el desarrollo de los países de origen de sus miembros tratando de aprovechar las capacidades de estos expatriados. Existen diversas modalidades para que la transmisión de estos conocimientos sea posible y eficaz: transmisión de tecnología, intercambio de estudiantes, proyectos conjuntos de investigación, actividades a través del ordenador, acceso a datos, información, financiación o cualquier recurso que falte en el país natal, oportunidades de negocio, mantenimiento de sesiones de formación o consulta en áreas especializadas de tecnología punta.

Este esquema ha recibido el nombre de “opción diáspora” en oposición a “opción retorno”; ésta busca la vuelta física de los expatriados altamente capacitados a su país de origen, mientras la primera sólo pretende movilizarlos y conectarlos (donde quiera que estén) con su país natal. La opción retorno se basa en el enfoque tradicional del capital humano, en el que el objetivo es recuperar el conocimiento asimilado por un individuo. La opción diáspora es mucho más afín a las nuevas nociones de redes y refleja una manera de pensar abierta a los contactos, en la que no sólo se puede aprovechar este conocimiento, sino también las amplias redes socio-profesionales y los recursos humanos, materiales y cognitivos asociados a él.

La idea de asegurar la cooperación de los científicos prósperos con su país natal no es nueva. La historia de la ciencia ofrece muchos ejemplos de esta cooperación ya sea a escala individual en el caso de científicos preeminentes, o en tareas colectivas de asociaciones locales en los campus europeos o norteamericanos. Sin embargo, el fenómeno actual es de distinta índole y tiene un alcance mucho más amplio. Aunque hay diferencias entre ellas, las nuevas redes de diásporas son más numerosas, sistemáticas y extensas. Su emergencia y creciente reconocimiento como instrumentos estratégicos en el último decenio se deben a la convergencia de tres factores fundamentales en relación con la demografía, la comunicación, y la política.

El primero es el aumento significativo, que se ha producido en los últimos decenios, de expatriados altamente capacitados procedentes de los mismos países de origen, aunque su proporción en la población correspondiente en los países huéspedes haya permanecido inalterada. Esta densidad favorece evidentemente las interacciones y las tareas colectivas. El segundo factor es la coincidencia con la enorme evolución y facilidad de las comunicaciones. Internet ha ofrecido a los individuos y a los grupos diseminados por todo el mundo, un medio permanente de intercambios en línea, propicio para la identificación común y constituyendo *de facto* diásporas en todo el mundo. Por último, se reconoce cada vez más que el conocimiento (sobre todo científico y tecnológico) es el primer factor de desarrollo, y a la vez, se ha acentuado la escasez de competencias en los países en desarrollo. Todo ello otorga a los científicos e ingenieros (muchos de los cuales son expatriados) una función social y un reconocimiento mayores que nunca.

La opción diáspora introduce una lógica nueva y original en las relaciones científicas internacionales, que se aleja tanto del enfoque centro-periferia como del enfoque del sistema mundial. Por supuesto, las condiciones de dependencia pueden ser suavizadas, pues parte de las fuerzas de conocimiento de los países no pueden ya situarse dentro de sus fronteras. La acumulación mayor del capital de conocimiento en el Norte ya no se hace necesariamente a costa de aumentar las diferencias con el Sur, pues éste puede aprovecharlo para sus propios fines y por sus propias iniciativas. En un movimiento paradójico, la asimetría entre los fuertes y los débiles está parcialmente eliminada pues la fuerza de los primeros pasa a formar parte de los segundos. La distribución y las categorías jerárquicas mundiales están difuminadas por el hecho de que los lugares de poder y desarrollo son ahora múltiples y están dispersos. Las posibilidades de desarrollo, cada vez más basadas en el conocimiento, son más ubicuas, no porque se hayan hecho inmateriales, sino debido a las conductas nómadas y a la dualidad de fidelidades de sus agentes humanos. En una estrategia de tipo *ying-yang*, la periferia está representada en el centro por sus propios expatriados y los recursos del centro son movilizables por la periferia puesto que tiene acceso a ellos por sus propios medios. A causa de la opción diáspora, los lugares de conocimiento están de alguna forma *dis-locados* en su sentido literal. La topología geopolítica en términos de centro-periferia (ya sea única, como en la teoría de la dependencia, o múltiple, como en el enfoque del sistema mundial) puede ser cambiada si los esquemas basados en la diáspora cobran auge. Curiosamente, no sólo los países de emigración del Sur, sino también los países de inmigración del Norte consideran estos esquemas desde una óptica favorable, pues creen que las diásporas suponen oportunidades de cooperaciones provechosas y eficaces con los países de procedencia de sus miembros (Libercier y Schneider 1996).

Sin embargo, esta opción que capitaliza el nomadismo científico y tecnológico no es fácil. Pues parte del hecho de que tanto los expatriados como los actores de la comunidad nacional tienen la

voluntad y los medios de desarrollar y mantener los esfuerzos colectivos. Esto requiere una administración planeada y un compromiso político para garantizar que las colaboraciones tengan lugar efectivamente y se puedan obtener los recursos para fomentar acciones conjuntas. Por lo tanto, surge la pregunta de si esto es sostenible para muchos países en desarrollo. El caso de la red colombiana de científicos e ingenieros en el extranjero (red Caldas) es un claro ejemplo de los fracasos posibles en este sentido. Creada en 1990, en un momento en que el esfuerzo nacional en I y D aumentaba de manera espectacular, ha sido desmantelada tras un decenio de existencia prometedora aunque errática. Cuando cambió la administración, la crisis multidimensional actual trajo consigo prioridades más urgentes y el presupuesto fue recortado drásticamente. Así pues, aunque las inversiones que requiere sean limitadas y se capitalicen los recursos existentes, la opción diáspora puede verse perjudicada por las carencias citadas de los países en desarrollo, es decir, la falta de continuidad institucional y de estabilidad política.

Conclusión

La sociedad mundial del conocimiento ha visto aumentar significativamente la movilidad del personal altamente cualificado. Pero este aumento no es un fenómeno nuevo, sino que viene desde hace al menos dos decenios y medio. Por otra parte, los modelos de movilidad no difieren significativamente del nomadismo tradicional de los científicos e ingenieros. Desde luego, éstas siguen siendo las categorías laborales más móviles entre las altamente capacitadas. Sus desplazamientos siguen estando claramente condicionados por los actores sociales y por las circunstancias, y dan origen a estancias duraderas más que a búsquedas continuas y nomadismo constante. Lo mismo que en los albores de la ciencia en la cuenca mediterránea, la movilidad actual de los científicos e ingenieros responde a grandes orientaciones geopolíticas con flujos y secuencias de concentración y dispersión. Es posible que la pluralidad actual de esquemas basados en la movilización y uso de las diásporas de alta cualificación correspondan a una nueva secuencia o tendencia hacia la dispersión tras la masiva concentración de los últimos decenios. Ésta es la verdadera etimología de la palabra griega *diáspora* (dispersión y diseminación), un movimiento que traspasa fronteras, pero que no carece de vínculos y asociaciones. Por lo tanto, existe la posibilidad de que algo de esto pueda ser “recuperado” por la creación de redes directas.

Traducido del inglés

Referencias

ALTBACH P.1995. “ Foreword: International Knowledge Networks and the ‘Invisible College’ of Scientists and Scholars ” en Choi H. 1995. *An International Scientific Community; Asian Scholars in the United States*. Londres: Praeger : ix-xi.

BENNER C. 2000. “ Building Community-Based Careers: Labour Market Intermediaries and Flexible Employment in Silicon Valley ”, *Urban Futures Conference*, Durban, Julio de 2000 : 18p.

BURTON, L and WANG J. 1999. “ How Much Does the U.S. Rely on Immigrant Engineers? ” NSF-Issue Brief 99-327, Washington DC: National Science Foundation.

- CAO X. 1996. "Debating Brain Drain in the Context of Globalisation". *Compare* (British Comparative and International Education Society) vol. 26 no 3, 269-284.
- CARRINGTON, W y DETRAGIACHE, E. 1998. *How Big is the Brain Drain?* Documento de Trabajo del FMI, Washington DC: Fondo Monetario Internacional.
- CHAPMAN, M. y PROTHERO, M. 1985. *Circulation in Population Movement*. Londres: Routledge and Kegan Paul.
- CHOI, H. 1995. *An International Scientific Community; Asian Scholars in the United States*. Londres: Praeger.
- CRAWFORD, E., SHINN T. and SORLIN S. (eds), 1992. *Denationalizing Science: The Contexts of International Scientific Practice. Sociology of Science Yearbook*. Vol. XVI..
- DEDIJER S. 1968. "Early Migration" en ADAMS W. *The Brain Drain*, Nueva York, Mac Millan : 9-28
- ELZINGA A. y LANDSTRÖM c. (eds), 1995. *Internationalism and Science*. Londres: Taylor Graham.
- GAILLARD, J., GAILLARD, A. 1997. "The International Mobility of Brains: Exodus or Circulation?". *Science, Technology and Society*, vol. 2, no 2 : 195-228.
- HAQUE, N. U. y KIM S. 1994. *Human Capital Flight: Impact of Migration on Income and Growth*, Documento de Trabajo del FMI, Washington DC: Fondo Monetario Internacional.
- HORTON R. y FINNEGAN R. 1973. *Modes of Thought*, Londres, Faber and Faber.
- JOHNSON, J. y REGETS, M. 1998. *International Mobility of Scientists and Engineers to the United States: Brain Drain or Brain Circulation?* NSF-Issue Brief 98-316, Washington DC: National Science Foundation.
- KAPLAN, D., MEYER, J-B. y BROWN M. 1999. "Brain Drain: New Data, New Options" *Trade and Industry Monitor* 11 : 18-20.
- LIBERCIER M. y SCHNEIDER H. 1996. *Migrants; Partners in Development Co-operation*, París, OCDE
- MAHROUN, S. 1999. "Competing for the Highly Skilled: Europe in Perspective" *Science and Public Policy*, vol. 26 no 1 : 17-25.
- MERTON, R.K. 1973. *Sociology of Science*. Chicago: University Press of Chicago.
- MEYER, J-B. y CHARUM, J. 1995. "La fuite des cerveaux est-elle épuisée? Paradigme perdu et nouvelles perspectives". *Cahiers des sciences humaines*, vol. 31, n. 4 : 1003-1017.
- MEYER, J-B. 2000. "The satellite: towards a local and global observation of the circulation of competences" en Charum J y Meyer J-B. *International Scientific Migrations Today: New Perspectives*, CD-ROM, París: IRD-COLCIENCIAS : 8p.
- MEYER, J-B. y BROWN, M. 1999. "Scientific Diasporas: a New Approach to the Brain Drain", Conferencia Mundial de la UNESCO sobre la Ciencia, Budapest, junio, colección de documentos del programa MOST.
- MEYER, J-B. y CHARUM, J. 1995 "La fuite des cerveaux est-elle épuisée? Paradigme perdu et nouvelles perspectives". *Cahiers des Sciences Humaines*, vol. 31, no 4 : 1003-1017. Traducción

al español “¿ Se agotó la fuga de cerebros? Paradigma perdido y nuevas perspectivas ”
Integración Ciencia y Tecnología , vol. 1 no 1 (diciembre de 1994).

MOCKUS SIVICKAS, A. 2000. “Introductory Remarks”, en Charum J. y Meyer J-B. *International Scientific Migrations Today: New Perspectives*, CD-ROM, París: IRD-COLCIENCIAS : 6p.

O.C.D.E. 1998. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, *Trends in International Migration*, Informe Anual, París, O.C.D.E.

OTEIZA, E. 2000. “Brain Drain: an Historical and Conceptual Framework” en Charum J. y Meyer J-B. *International Scientific Migrations Today: New Perspectives*, CD-ROM, París: IRD-COLCIENCIAS : 11p.

PEDERSEN P. y LEE K. S. 2000 “ Running Head: ‘Back and Forth’ as a Viable Alternative to the Brain Drain Perspective, with Chinese Examples ” en Charum J. y Meyer J-B. *International Scientific Migrations Today: New Perspectives*, CD-ROM, París: IRD-COLCIENCIAS : 10p.

STEWART, J. 1997. *Intellectual Capital*. Londres: Nicholas Bradley.

WAGNER, A.C. 1998. *Les Nouvelles Elites de la Mondialisation; une Immigration Dorée en France*. París: Presses Universitaires de France.

WALLERSTEIN, I. 1978. “ World System Analysis: Theoretical and Interpretative Issues ” en Kaplan B. *Social Change in the Capitalist World Economy*, Beverly Hills, Sage : 219-236.

Nota biográfica

Jean-Jacques Salomon es profesor honorario, titular de la cátedra de Tecnología y Sociedad en el Conservatoire National des Arts et Métiers, París, Francia. Doctor en filosofía e historia de las ciencias, fundó y dirigió la División de Política de la Ciencia y de la Tecnología de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 1963-1983). Ha sido profesor invitado, entre otras instituciones, en el MIT, en Harvard, Montreal y en el Instituto de Ciencias Avanzadas de São Paulo. Correo electrónico: salomon@cnam.fr

El nuevo escenario de las políticas de la ciencia

Jean-Jacques Salomon

Hay quienes habían anunciado el fin de la historia, como si la historia (o el tiempo) hubiese debido detenerse con el fin del comunismo y el triunfo del mercado. Pero, lejos de detener el tiempo, la ciencia y la tecnología son precisamente las que hacen que la humanidad continúe por los territorios desconocidos de la historia que nunca ha dejado de escribir. Los hombres hacen la historia, decía Raymond Aron, pero ignoran qué historia hacen. Es un mundo con un escenario enteramente renovado donde la ciencia y la tecnología de fines del siglo XX nos hacen penetrar, un mundo tan nuevo, prometedor y aleatorio como podía serlo el del siglo XVI, marcado por la revolución de la imprenta, el descubrimiento del Nuevo Mundo, la Reforma, las rebeliones campesinas y la aparición de los Estados nación. Cuarenta años de guerra fría han transformado por completo el sistema de la investigación, volviéndolo cada vez más dependiente de los gobiernos y cada vez más estrechamente vinculado al "complejo militar-industrial". Las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad han estado profundamente condicionadas por el peso de este intervencionismo estatal, cuyo alcance da la medida de las tensiones ideológicas y estratégicas que caracterizaron el periodo inmediatamente posterior a la Segunda Guerra mundial. Actualmente, la población mundial de investigadores se estima en alrededor de tres millones de científicos e ingenieros, y el gasto total anual destinado a la investigación y al desarrollo se evalúa en 450.000 millones de dólares - el 38% de esta suma corresponde a los Estados Unidos de América, el 28% a Europa y el Japón, el 18% a los nuevos países industrializados y el resto a Rusia, China, India y América Latina (OST, 2000). Pero el fin de la guerra fría, y de la competencia entre mundo capitalista y mundo comunista, ha modificado a su vez las bases del problema, el lugar de los actores y las prioridades. La ciencia al servicio del complejo militar-industrial estaba estrechamente vinculada a la guerra virtual entre las dos grandes potencias y a las guerras reales que libraron indirectamente en los países en desarrollo. De esta manera, el imperativo de defensa constituyó la mejor garantía para el aumento de los gastos de investigación y desarrollo. Como lo subrayaba Galbraith, "con muy pocas diferencias, el atraso es a la competencia tecnológica lo que el desgaste es a la guerra" (Galbraith, 1967). Este imperativo es hoy aparentemente menos importante y urgente, pero no debemos hacernos la ilusión de que lo han hecho desaparecer las promesas de una paz aún incierta y las esperanzas de sus "dividendos" siempre pendientes que el final de la guerra fría ha suscitado. Sin embargo, no cabe duda que el escenario no es el mismo, a tal punto que resulta legítimo preguntarnos si la obra que se representa ante nuestros ojos no es, ella también, completamente nueva.

Las urgencias y las escaladas desbordan actualmente el ámbito del armamento e invaden el de la economía, en nombre de la competitividad de las empresas y la mundialización. Después de la escalada de la guerra fría, la escena mundial, en la que se decide en la actualidad la competencia basada en la innovación, autoriza a interrogarse más que nunca acerca de los aspectos *sociales* e incluso *morales* de las políticas que son objeto de las actividades de investigación. Al mismo tiempo, las orientaciones y el modelo de gestión de la investigación industrial, con sus objetivos de rentabilidad a corto plazo, ganan en importancia frente a las reivindicaciones de los investigadores universitarios y se cuestiona la legitimidad de la "continuación del saber en cuanto tal". ¿La edad de oro del apoyo público a la ciencia pertenecerá definitivamente al pasado? Sólo los Estados Unidos de América se comprometen en la actualidad a invertir en las actividades de investigación y desarrollo, reanudando así las escaladas de la guerra fría: recobrado el crecimiento económico y con el déficit público reducido, el presidente Clinton propuso un aumento de 2.800 millones de dólares para el año fiscal 2001 (Dalton, 2000). Lo más probable es que su sucesor, aún siendo republicano, mantenga el compromiso del gobierno a favor de las ciencias básicas como instrumento estratégico en la competencia económica mundial. ¿Se confirmará este espectacular incremento, al tiempo que la afluencia de estudiantes estadounidenses hacia las ciencias naturales no cesa de disminuir, el éxodo de cerebros hacia los Estados Unidos de América, aparentemente, experimenta nuevamente un fabuloso aumento: 20.000 PhDs, sin contar la cantidad de ingenieros y estudiantes procedentes del mundo entero? No es en absoluto evidente que en los otros países la competencia económica suponga un incremento comparable de las inversiones como el que generó en su momento la guerra fría.

Las secuelas de la guerra fría

Cuatro factores principales han transformado - y continuarán transformando en el futuro - los vínculos entre ciencia y sociedad, tal como se desarrollaron desde los años inmediatamente posteriores a la Segunda Guerra Mundial.

El *primer* factor es sin duda alguna el final de la guerra fría, la implosión del mundo comunista, el derrumbe económico de la ex Unión Soviética que ha dejado de ser uno de los grandes actores de la competencia tecnológica. En el caso de los países más industrializados, en particular aquellos que se vieron envueltos en las escaladas de tensión entre Este y Oeste, los recursos destinados a las actividades de investigación para la defensa representaron las tres cuartas partes del gasto público en investigación y desarrollo, es decir sumas absolutamente colosales. Por una parte, la disminución relativa de las inversiones en investigación y desarrollo militar y, por otra, las dificultades económicas de los años noventa (la disminución de los presupuestos públicos y las presiones sociales que el aumento del desempleo provocó en la mayoría de los países) condujeron a concentrar los esfuerzos en la capacidad de innovación de las empresas y a restringir el apoyo a la investigación fundamental. En la mayoría de los países industrializados, la reanudación del crecimiento económico no ha cambiado en lo fundamental esta característica del nuevo milenio: la reducción del papel del Estado.

Sin embargo, la amenaza de las bombas atómicas no ha desaparecido, a pesar de los tratados tendientes a reducir los arsenales estadounidenses y rusos y a limitar la cantidad de países miembros del club nuclear. Las armas atómicas no pertenecen al pasado, y al mismo tiempo se dedica una intensa investigación a la guerra a distancia, basada en la electrónica, los cohetes y los

satélites. Ayer se hablaba de guerra justa y hoy día se la llama guerra limpia, pero no por ello las víctimas "colaterales" pesan más en la balanza. Mundialización por un lado y fragmentación por el otro: la amenaza actual procede más bien de la descomposición interna de los Estados, mientras asistimos simultáneamente a una privatización cada vez mayor de los sistemas militares. Pensar que las guerras en el sentido tradicional han sido erradicadas de la historia sería un error, pero es evidente que debemos enfrentar conflictos de un nuevo tipo (o, por el contrario, de los más arcaicos). El orden mundial basado en la paz perpetua no es para mañana.

Estamos lejos, desde luego, del principio de complementariedad aplicado a los asuntos mundiales según Niels Bohr, quien profesaba que a la posibilidad de una guerra nuclear total debe corresponder la posibilidad de una paz eterna: sueño de sabio visionario que no ha encontrado un gran eco entre los pueblos y los políticos. Hay acuerdo, ciertamente, para prohibir las minas antipersonal que no amenazan la integridad territorial de las potencias medianas, pero ni los Estados Unidos de América, ni China, ni Rusia han firmado aún el CTBT, el Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares, y la prohibición pura y simple de las armas nucleares o de las armas biológicas y químicas no está prevista. Por cierto, la amenaza de un conflicto nuclear cambia de punto cardinal, desplazándose de Occidente hacia Oriente con las explosiones chinas, indias y pakistaníes, el arsenal atómico israelí y los esfuerzos de la República Popular Democrática de Corea, Irak y la República Islámica del Irán para disponer de armas nucleares. A pesar de ello, las potencias occidentales siguen siendo blancos posibles de iniciativas terroristas en las que las armas miniaturizadas y portátiles pueden entrar en acción. Para los políticos el problema consiste en saber hasta qué nivel se pueden reducir los arsenales. Para aquellos científicos que trabajan con los militares no existe nivel razonable en la conquista de armas nuevas o de sus escudos: esto es patente con el proyecto americano de un sistema de defensa antimisiles que amenaza con provocar la reanudación de la escalada.

Revolución científica y técnica

El *segundo* factor es la revolución científica y técnica cuyos efectos se prolongarán y se extenderán a lo largo del siglo XXI, a todas las actividades civiles, así como al ámbito militar. Las tecnologías de la información y de la comunicación suponen una mutación muy parecida, por su alcance, a la que provocó la revolución de la imprenta. Se trata de una mutación intelectual, económica y social al mismo tiempo, acentuada aún más por los avances en materia de biotecnologías y nuevos materiales. Revolución de la información, de las biotecnologías, de los nuevos materiales; de hecho, es probable que dentro de algunos decenios los historiadores no hablen sino de *una sola revolución* cuyas metamorfosis y aplicaciones poseen las mismas características: en su origen, están todas vinculadas a industrias intensivas en saber y en capital, son ampliamente dependientes de las investigaciones, las técnicas interdisciplinarias y los conocimientos elaborados en los laboratorios universitarios e industriales; al evolucionar, contribuyen todas al mismo fenómeno de *desmaterialización* que hace que las sociedades postindustriales se vean cada vez más liberadas de los recursos naturales y dependan cada vez más estrechamente del capital inmaterial que no cesan de almacenar y difundir. En esta seguidilla de mutaciones técnicas, resulta actualmente imposible dissociar aquello que tiene que ver estrictamente con la aventura intelectual de lo que responde a los intereses de las empresas en sus batallas en el terreno de la competitividad. Es un hecho, a este respecto, que los medios de presión de los países en desarrollo, que antes disponían aún de la baza de ciertos recursos

naturales, son cada vez más reducidos debido al auge irresistible del "nuevo paradigma técnico-económico".

La mundialización de las economías y de los mercados

El *tercer* factor, estrechamente vinculado a las transformaciones científicas y técnicas y a los procesos de industrialización que dichas transformaciones permiten en el mundo, es precisamente la mundialización de las economías y de los mercados, que viene aparejada con la liberalización de los intercambios y de las empresas, con el papel cada vez más importante de las compañías transnacionales y con la disminución de las funciones que ejercían hasta ese momento los gobiernos en la regulación de las actividades económicas y de sus repercusiones sociales. La promesa prematura de la "aldea global" permanece bajo la amenaza de la tiranía del mercado y de la explosión de la burbuja especulativa. Si es necesario encontrar un símbolo del poder que posee la ciencia de fundar una nueva forma de imperialismo, ninguno es más revelador que la elaboración, mediante manipulaciones genéticas, de semillas esterilizadas: difundida a escala planetaria a causa de su resistencia a éste o aquel parásito, la semilla "Terminator" condenaría a los agricultores a volver a comprar cada año sus reservas de semillas a sus proveedores. Lo cual significa inaugurar la era del *imperialismo sin fronteras*: ayer había que colonizar territorios para acceder a nuevas fuentes de materias primas y de cultivos alimentarios; hoy no hace falta emprender la conquista material de nuevas tierras, la civilización de lo inmaterial permite someter a productores y consumidores a las fórmulas codificadas de un laboratorio y a los algoritmos de la "tela" de Internet.

La multiplicación de los problemas ambientales

Por último, el *cuarto* factor, tan condicionado por el proceso de industrialización como el anterior, es la multiplicación de los problemas ambientales que pesan sobre el futuro del planeta. El ambiente comienza por el hábitat: cerca de un 40% de la población mundial estará obligado a vivir en ciudades, sobre un total que oscilará entre 6.000 y 8.000 millones de habitantes. Este gigantesco proceso de urbanización acelerada tendrá una doble consecuencia: por un lado, la aparición de megaciudades, o más bien de gigaciudades, cuyas infraestructuras no podrán de ninguna manera satisfacer las necesidades de esas extremas concentraciones humanas, con problemas insolubles de gestión, desempleo, subempleo y violencia; por otro lado, el abandono de regiones enteras, cuyos recursos naturales permanecerán inexplorados, de manera que la alimentación de dichas megaciudades en la mayoría de los países en desarrollo dependerá cada vez más de productos importados, penalizando así con un endeudamiento cada vez mayor el crecimiento de dichos países.

Por otra parte, la naturaleza y el nivel de las actividades industriales y agrícolas provocan cambios en los ciclos biológicos, químicos y geológicos que perturban los sistemas naturales: desaparición de especies, contaminación del aire y del agua, agujero en la capa de ozono, falta de lluvia y sequía en ciertas zonas, inundaciones y ciclones en otras, etcétera. Ya no es posible negar el recalentamiento del planeta como consecuencia de las emisiones de gases con efecto de invernadero. La humanidad descubre una multiplicidad de nuevos riesgos al mismo tiempo que la importancia del "desarrollo sostenible" y la necesidad de aplicar *el principio de precaución*. Pero simultáneamente la mundialización, acelerada por las transformaciones científicas y técnicas, vuelve cada vez más interdependientes economías, sociedades y culturas, y pone de manifiesto al

mismo tiempo el aumento intolerable de las desigualdades en el mundo. Y precisamente el desorden climático, provocado quizás por el modelo de desarrollo anterior y por el consumo actual de los países industrializados, amenaza con afectar primero a los países más pobres, que ya soportan una situación profundamente injusta, puesto que, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el 20% de la humanidad se reparte el 86% del consumo privado total del planeta. Si India y China se industrializaran en las mismas condiciones y proporciones que Europa y los Estados Unidos de América, cuesta imaginar cómo podría la humanidad enfrentar el desafío de las contaminaciones industriales y sus consecuencias sobre el clima.

La gran distancia

Es evidente que nadie está en condiciones de medir, y aún menos de negar, todo lo que la ciencia y la tecnología han aportado a la humanidad. En este comienzo del tercer milenio, jamás las innovaciones y los descubrimientos habían prometido un mayor aumento de progreso *material*, pero jamás la capacidad de producción - y de destrucción - de la humanidad ha planteado tantos interrogantes e incertidumbres sobre el uso que se dará a dicho progreso. La distancia entre el orden que los principios de igualdad y de precaución podrían instituir en el mundo y la realidad de los peligros comunes a los que la humanidad está expuesta no es mayor que aquella que separa los países industrializados de la mayoría de los países en desarrollo. Esto equivale, en otros términos, a recordar que la distancia entre la potencia de la que dispone la humanidad y la sabiduría que es capaz - o incapaz - de demostrar es el desafío crucial del nuevo siglo.

Esto es también una manera de hacer hincapié en lo mucho que la humanidad depende en la actualidad de las actividades científicas y técnicas. De una u otra manera, hoy día en todas las sociedades del planeta vinculadas entre ellas tanto por la "red", como por el auge de los transportes aéreos y de los multimedia, resulta imposible actuar, administrar una empresa o gobernar un país sin recurrir a los datos de la ciencia, ya sea en tanto que *asesoría, método, prueba, resultado* e incluso como *promesa*. Ningún gobierno y muy pocas empresas pueden prescindir hoy en día, tanto en su gestión cotidiana como en sus actividades y previsiones a mediano plazo, de la opinión de los científicos, de sus datos y métodos, de los conocimientos y las competencias que sus investigaciones permiten almacenar en el cuerno de la abundancia donde nacen las innovaciones.

Tenemos, pues, por una parte, una formidable acumulación de descubrimientos, aplicaciones y nuevas competencias que acarrea un excedente de saber y de poder sin precedentes. Después de las transformaciones que han tenido lugar durante el último medio siglo en los ámbitos de la energía, la agricultura, la salud y las comunicaciones, la humanidad nunca había dispuesto de *herramientas* y de *prótesis* tan eficaces, inteligentes y multifuncionales como aquellas que la revolución de la informática, de la ingeniería genética y de los materiales compuestos pone a su disposición y promete multiplicar en todos los ámbitos a una escala que aún no podemos imaginar. De la misma manera que la revolución de los multimedia nos hace entrar en la era de lo *virtual* y la de las biotecnologías en la de la *clonación*, la revolución de los nuevos materiales nos hace entrar en la era del *artificio de las funciones infinitas*. Pero nadie puede anticipar, hoy por hoy, todos los usos y consecuencias de la difusión de tecnologías cuyo alcance planetario es también considerable: si la ciencia y la tecnología irrigan la posmodernidad como la sangre el cerebro, es para bien y para mal.

Por otra parte, en efecto, las desigualdades entre naciones, y al interior de ciertas naciones, permanecen e incluso aumentan. Las enfermedades, las epidemias, el subempleo, el desempleo y la miseria afectan a más de la mitad de la población mundial. Los propios progresos de la ciencia y la tecnología plantean problemas y suponen riesgos cuya prevención y gestión requieren nuevos mecanismos de control democrático: el caso de la sangre contaminada, el de las vacas locas, los problemas que plantea la reproducción asexual, las incertidumbres ligadas a los organismos modificados genéticamente, la posibilidad de la clonación humana y las amenazas de recalentamiento del planeta provocan la sospecha sobre la competencia científica apenas aparece vinculada al proceso de decisión política y al mismo tiempo hacen temer las iniciativas de aprendices de brujo ante los cuales las sociedades democráticas estarían sencillamente inermes (Salomon, 1999).

El riesgo tecnológico grave

¿Cómo no ver una novedad radical, un riesgo grave sin precedentes, en la naturaleza de las consecuencias que pueden acarrear determinadas realizaciones científicas y tecnológicas? Al accidente mecánico que mata y provoca invalidez en proporciones desconocidas hasta entonces, el siglo XX agregó una nueva dimensión: la del desastre que atenta contra la integridad de la vida y la perpetuación de la especie. Un desastre que puede manifestarse en tres formas: *insidiosamente* (contaminaciones, extinciones de especies ligadas por ejemplo al DDT, enfermedades resultantes de la utilización de productos como el amianto); *directamente* (talidomida, mercurio de Minamata, dioxina de Seveso y de Bhopal, mareas negras, nube radioactiva de Chernobil); o *potencialmente* (manipulaciones genéticas, epidemias creadas por el hombre, efecto de invernadero y otras amenazas que pesan sobre la biosfera). En todos estos casos el riesgo no lo corren sólo las víctimas del momento, sino que afecta a la propia vida al transmitirse a los descendientes. La plaga estadística del monstruo o del discapacitado de nacimiento a causa de los imponderables de la naturaleza ha aumentado gracias a las innovaciones de la inteligencia humana. Esta plaga-artefacto se manifiesta *en el tiempo y en el espacio*: un tiempo que sobrepasa el de las sociedades más longevas, un espacio que trasciende las fronteras al interior de las cuales los Estados nación creyeron siempre proteger a sus pueblos de las violencias que ejercían los otros.

Nuestra civilización es la primera en la historia de la humanidad que no sabe cómo deshacerse de algunos desechos: ¿es necesario, desde ya, almacenar en profundidad los desechos "de vida larga" producidos por la industria nuclear, algunos de los cuales pueden conservar una radiotoxicidad fatal durante decenas y hasta cientos de miles de años, o se debe esperar que los adelantos de la ciencia y la técnica permitan reciclarlos? *La elección no es únicamente técnica, se trata de un problema crucial para el conjunto de la sociedad.* Los acuerdos de desarme tienden a limitar los arsenales atómicos, pero el tiempo necesario para reducir y reciclar las existencias de plutonio en los antiguos países comunistas y las negligencias manifiestas que éstos demuestran en su gestión conducen a tráficos que pueden aumentar la proliferación y el terrorismo nucleares. Si bien el fin de la guerra fría permite descartar, por ahora, el escenario de la "escalada extrema" por parte de las dos potencias bipolares, ello no significa el fin de la amenaza de un desastre atómico. Nuestra civilización es también la primera en haberse puesto en el caso de pensar su fin como el producto mismo de su genio. Esta sombra de incertidumbre y de amenaza absoluta que proyecta aún la posibilidad de una guerra nuclear ha introducido una nueva dimensión en la relación de los hombres y las sociedades no sólo con la tecnología, sino con la ciencia propiamente tal; se trata,

de hecho, de una sospecha si no de irracionalidad al menos de sinrazón. Prometeo era audaz, no insensato. Nosotros heredamos de la Ilustración la idea de que el progreso científico y técnico fundamenta la marcha de la humanidad hacia su superación constante. Es este postulado - o esta ilusión - del racionalismo lo que han puesto en entredicho la experiencia de los campos de concentración y el espectro de la guerra nuclear.

Sin llegar hasta el extremo del cataclismo nuclear, es un hecho que la *escala* y la *complejidad* de ciertos adelantos tecnológicos, no menos que la *prisa* con la que generalmente se difunden, tienen como contrapartida consecuencias potenciales sin precedentes. Se ha visto en grande y cada vez más en grande: de las centrales a los petroleros gigantes, de los sistemas de comunicación a los sistemas de transporte, los inconvenientes y riesgos del progreso han procedido de los nuevos componentes de la tecnología, de su aplicación a escalas sin precedente y de la rapidez con la que se propaga en las estructuras sociales: la magnitud de las contaminaciones, el retroceso de los bosques, las desertificaciones, las amenazas que pesan sobre la biosfera, daños todos éstos que son reconocidos unánimemente como resultados de la propia civilización. ¿Y qué decir de los problemas que plantean la informática, los grandes ordenadores, el tratamiento de los ficheros? El temor al problema informático del milenio suscitado por el paso al año 2000 hizo pensar en el que despertó el año mil, pero lo que estaba en juego era más prosaico: en vez de temer el Juicio final, sólo se hizo frente a un problema técnico que produjo un miedo generalizado y permitió, al mismo tiempo, que las sociedades de servicios informáticos se enriquecieran espectacularmente. A los hombres del año mil les obsesionaba la idea de la salvación; a los del año 2000, la del desperfecto técnico: ya casi no existe lugar para la dimensión de lo sagrado en el mundo "desencantado" en el que reinan la ciencia y la tecnología. Esto no impide que la difusión de la informática dé lugar a una mayor vulnerabilidad de los sistemas técnicos a los cuales se aplica (algo que han puesto de manifiesto los ataques de virus como ILOVEYOU). En la mayoría de los países industrializados, la necesidad de nuevas legislaciones tendientes a instaurar medios de control y contrapoderes demuestra ampliamente que las amenazas a la vida privada y las libertades no son fantasmas de lectores de Orwell. En definitiva, la civilización postindustrial ha sustituido la vulnerabilidad del alma humana por la vulnerabilidad de la técnica.

El desafío social y ético

Interrogarse sobre las posibilidades de *desviaciones* no equivale a denigrar los beneficios del progreso ni a rechazar la ciencia. La novedad reside precisamente en que este interrogante ya no proviene sólo de poetas o filósofos (de Rousseau a Heidegger, de Keats, Baudelaire o Flaubert a Cioran o Baudrillard, etcétera) que han denunciado desde los comienzos de la civilización industrial la distancia que ésta ha instaurado entre la potencia y la sabiduría, sino que ha pasado a ser un interrogante que plantean los propios científicos, como lo ha demostrado desde los años setenta la controversia suscitada por las investigaciones sobre la recombinación del ADN. Desde entonces, en la mayoría de los países industrializados se han adoptado reglamentaciones para imponer medidas de seguridad destinadas a "contener", tanto en el plano de las instalaciones físicas como en el de las experiencias biológicas, los peligros potenciales sin limitar por ello las propias investigaciones. El trasfondo de esta controversia, tal como ha sido definido a partir de 1975 por la Conferencia de Asilomar, se encuentra en el equilibrio que debe establecerse entre el riesgo calculado de los experimentos que se conciben y la eficacia estimada de los umbrales de seguridad. La naturaleza misma de las investigaciones llevadas a cabo, las divergencias de

opinión entre los expertos y las presiones de la opinión pública han transformado este debate científico en un asunto político debatido en la plaza pública.

Y sin embargo, el caso de Asilomar no era sino el ensayo general de una serie de interrogantes y controversias en las que el progreso de las técnicas biomédicas no ha dejado de plantear nuevos problemas, tanto en el plano social como en el ético. Esto es manifiesto en el caso de las consecuencias lejanas, y sin embargo posibles, de las investigaciones sobre el genoma humano emprendidas masivamente: la cartografía de los genes podrá, sin duda, ayudar a curar o a prevenir enfermedades, pero también puede conducir a nuevos programas de eugenesia. Sin llegar, de hecho, a ese extremo es evidente que la adquisición de la información sobre el genoma puede amenazar las libertades individuales al proporcionar medios de control sobre las familias que presentan "riesgos" a las compañías de seguros e incluso a los sistemas nacionales de salud. Entre la *medicina predictiva* y la *policía preventiva* no hay sino un paso y no cuesta mucho imaginar en nombre de qué intereses se podría intentar franquear. Asimismo, el creciente recurso comercial a productos y prótesis cuyo origen es el cuerpo humano, el paso de la reproducción humana a la reproducción artificial en probeta, la posibilidad, abierta a partir de ahora, de la clonación humana, hacen surgir interrogantes cuya novedad deja sin respuestas a juristas, representantes religiosos, filósofos y políticos.

Por una parte, la institución que encarna con mayor excelencia el éxito de la investigación racional se interroga sobre los límites que debe o puede imponer al ejercicio de dicha investigación. Por otra, la necesidad de un control social de la investigación irrumpe en un territorio antaño reservado exclusivamente a los debates entre especialistas. Hasta entonces, la actividad técnica, y con mayor razón aún la investigación científica, podían desarrollarse sin que se las considerara *a priori* culpables o cómplices de consecuencias desastrosas; gozaban de una reputación de bienhechoras hasta que algún acontecimiento no probara lo contrario. Hoy en día no estamos lejos de pedirles que prueben de antemano su inocencia. Así, el propio progreso de la ciencia plantea un interrogante y tiende a someter el ejercicio de los procedimientos mediante los cuales dicho progreso es posible a un control exterior a la comunidad científica.

No es un azar si el final del siglo XX ha visto desarrollarse, tanto en el plano nacional como internacional, instituciones y procedimientos, del *technology assessment* a la estadounidense al *Office parlementaire des choix scientifiques et techniques* francés y los comités de ética biomédica, cuya vocación es precisamente la de reflexionar sobre los límites que la propia civilización debe y puede poner en la carrera hacia el progreso. ¿La idea misma de una reglamentación de los descubrimientos científicos no es acaso, si no una contradicción en los términos, al menos un objetivo diametralmente opuesto a la vocación prometeica de Occidente? El deseo de saber, decía Aristóteles, es la definición misma del hombre. ¿Llegaremos a afirmar que mientras más riquezas y bienestar acumulan las sociedades, más aumentan el miedo al riesgo y la preocupación por la seguridad? En todo caso, tenemos la certeza de que no podemos contentarnos con decir que todas las innovaciones son buenas: las víctimas de la talidomida, de Minamata, de Bhopal o de Chernobil, la amenaza de una epidemia de la enfermedad de Creutzfeldt-Jacob, resultante de las "vacas locas", el efecto de invernadero y la amenaza de recalentamiento del planeta nos recuerdan que el costo humano y social del proceso de industrialización - o de cierto proceso de industrialización - puede ser exorbitante. Si el principio de precaución entra en las leyes, en los planos nacional e internacional, no es para paralizar o inhibir la innovación, sino para limitar sus daños en nombre de la "preocupación" por las

generaciones futuras: de estos aspectos cruciales del desarrollo de la ciencia y la tecnología depende el destino de la humanidad.

Las nuevas reglamentaciones o el refuerzo de las reglamentaciones ya existentes reflejan un cambio en los valores individuales y sociales que la "tecnestructura" (la del Estado, así como la de las empresas) está obligada a considerar. Lo que ocurrió en Seattle fue un ejemplo de ello, como si el verdadero "problema informático del milenio" se hubiese manifestado con ocasión de la reunión de la OMC en forma de un bloqueo que emanase no de la técnica sino de la sociedad civil. Este cambio de actitud respecto de la tecnología equivale a no aceptar como inevitables los efectos negativos, indirectos o perversos del proceso de industrialización. Si la lectura del progreso ha cambiado, los lectores del progreso tampoco son los mismos y muestran una determinación creciente de influir sobre la orientación del cambio técnico. Los movimientos ecologistas son el testimonio de esta nueva necesidad de modificar las relaciones entre la sociedad y el entorno natural. Hay en ello, de hecho, una paradoja más que es necesario subrayar y una sólida razón para no resignarse: las catástrofes tecnológicas y los desastres ecológicos han sido hasta ahora más dramáticos precisamente en los países que han pretendido organizar la economía en base a una planificación científica rigurosa, mientras que en nuestros países, en donde el Estado de bienestar ha sido cada vez más cuestionado, en donde la tendencia a liberalizar y a acabar con las reglamentaciones no ha dejado de aumentar, la "evaluación social de las tecnologías" ha experimentado progresos considerables, tanto en el plano institucional como en el metodológico.

Esta paradoja ilustra a la vez la *vulnerabilidad* de las sociedades democráticas y su *capacidad de adaptación* al cambio técnico. Las sociedades que buscan obtener ganancias máximas minimizando las pérdidas no son necesariamente pusilánimes, pero pagan el precio que supone admitir un debate público. Están condenadas a adaptarse a los cambios, esforzándose por reducir la distancia entre las iniciativas del aparato político-administrativo y las aspiraciones del cuerpo social. El precio que deben pagar se traduce en controversias públicas, plazos, cuestionamientos, rechazos. Los tecnócratas, los empresarios y algunos políticos prescindirían, si de ellos dependiera, de este barullo que permite que se expresen aquellos "que no saben nada del tema" y compromete la realización de proyectos que son, a ojos de los técnicos, tan irrefutables como urgentes. El choque entre la *lógica tecnocrática* y la *lógica democrática* tiene un precio que puede parecer elevado a los decisores, pero que siempre será menor que el que habría que pagar en ausencia de todo mecanismo de previsión y de regulación.

Privatización y mercantilización de la investigación

El fin de la guerra fría compromete la legitimidad del apoyo que los poderes públicos otorgan a la investigación fundamental. Esta es la primera razón por la que los términos del contrato entre ciencia y sociedad están cambiando. Esto no quiere decir que haya que dejar de subvencionar los trabajos de investigación fundamental, sino que otras consideraciones, distintas a aquellas que pudieron, en la urgencia o en la impresión de la urgencia, resultar de las presiones de la guerra fría, son a partir de ahora valoradas por los poderes públicos, habida cuenta de las realidades económicas, las dificultades sociales, la transformación de los desafíos y, por lo tanto, de las prioridades. En otros términos, la causa de la ciencia no puede actualmente defenderse con el único argumento de la continuación del saber en cuanto tal, esto es, poniendo la investigación entre las primeras prioridades. Antes bien, la defensa de la ciencia debe contemplar cada vez más

las restricciones presupuestarias y los problemas que enfrenta la sociedad y demostrar que la manera en que la ciencia enfrenta estos desafíos es pertinente, lo que equivale a poner las consideraciones sociales en primer lugar.

La rama de la institución científica dedicada a los descubrimientos "fundamentales" lleva a cabo una actividad cuyos resultados, consecuencias y aplicaciones son imprevisibles y se ubican siempre en una perspectiva de largo plazo. Desde este punto de vista resulta esencial que el Estado le brinde su apoyo, puesto que aparece como un bien público "fuera del mercado", cuya rentabilidad en el corto e incluso en el mediano plazo es muy aleatoria y por consiguiente no interesa directamente al sector privado. Esta es la razón por la cual la investigación fundamental tiene por centro principal la universidad, pues en ella los científicos no están obligados por las presiones del mercado a producir rápidamente resultados. Pero aquí surge el otro aspecto de los cambios que sufre el contrato entre ciencia y sociedad: el desplazamiento de la población de investigadores fuera de la universidad, hacia laboratorios industriales o nacionales, arsenales y otros. De esta manera, la investigación fundamental ya no tiene como centro exclusivo a la universidad: se desarrolla también en ciertos laboratorios industriales cuyos trabajos pueden igualmente conducir a descubrimientos fundamentales, como por ejemplo el transistor, la supraconductividad por debajo del cero absoluto, etcétera.

Este desplazamiento del centro exclusivo de la investigación fundamental está vinculado, por lo demás, a la evolución misma de las actividades de investigación. En primer lugar, las fronteras entre ciencia y tecnología se vuelven cada vez más tenues, en el sentido en que ésta y aquélla, estrechamente solidarias entre sí, progresan en la actualidad concertadamente. Por ejemplo, en biología, la pantalla del ordenador ha reemplazado al banco de laboratorio tradicional. Hoy en día son muy pocas las investigaciones fundamentales que no deben sus avances a la utilización de instrumentos científicos cada vez más "sabios". Así como la tecnología es en la actualidad el fruto del acercamiento entre el laboratorio y la industria, el desarrollo de la ciencia pasa por los intercambios, tan constantes como estrechos, entre ésta y la tecnología. Se trata de las dos caras de la misma moneda: si bien la cara "noble" aparece siempre vinculada al mundo académico, "desinteresado", como remitiendo la otra cara al universo "impuro" de los intereses mercantiles, ello no impide que las diferencias entre ambas sean cada vez menores, tanto por sus motivaciones, como por sus prácticas y sus enfoques. Por otra parte, la investigación científica sobre problemas que necesitan la contribución de diferentes disciplinas y competencias es cada vez mayor. Este es, evidentemente, el caso de las investigaciones sobre el medio ambiente, pero también el de numerosos trabajos de investigación tanto en biología como en física, incluso en física de las altas energías. No es de extrañar, pues, que el Roslin Institute de Edimburgo, que reprodujo mediante clonación a la oveja Dolly, se declare dedicado a la investigación fundamental, y albergue al mismo tiempo a la firma PPL Therapeutics, cuya vocación es explotar los resultados de la investigación en el terreno comercial: se invoca así, bajo el mismo techo, el desarrollo del saber y las fluctuaciones de las acciones en la Bolsa. Otro ejemplo del mismo tipo es el de la Sociedad Transgène, que asocia a los investigadores del Institut Pasteur y del Institut Mérieux en la conquista de las terapias genéticas comercializables: así como las fronteras entre la ciencia y la tecnología son cada vez menos nítidas, las fronteras entre el saber como valor y el saber como mercancía tienden también a borrarse.

Esto nos lleva a considerar los importantes cambios que se han producido tanto en la *naturaleza* como en la *práctica* de la investigación científica. Las disciplinas que dominan el escenario no

son ya las mismas ni, por consiguiente, los interlocutores en los gobiernos, a quienes, por cierto, se les pide que cambien de estilo y de argumentos en sus discursos: las ciencias de la información y de la comunicación se han impuesto, junto con la biología molecular, sobre la física, cuyas posibles aplicaciones quedan cada vez más postergadas debido al costo prohibitivo de los instrumentos y experiencias que supondrían. Al faltar el estimulante de la guerra fría, los mega aceleradores de partículas y el dominio de la fusión han dejado de ser prioritarios, y las condiciones necesarias para aprovechar la supraconductividad son tan difíciles desde el punto de vista técnico y tan onerosas que es legítimo pensar que no veremos sus aplicaciones antes de mucho tiempo. La sensación de urgencia ha desaparecido con el retroceso de los fantasmas apocalípticos de una nueva guerra mundial, y los Parlamentos se muestran sencillamente más cautos - o menos ciegos - en los favores que consienten a los científicos. Las ciencias y las autopistas de la información cobran aún más protagonismo en la medida en que constituyen, como antaño los ferrocarriles y la termodinámica, la fuente de las mayores especulaciones bursátiles.

De hecho, las condiciones de producción de los nuevos conocimientos, competencias y capacidades, al igual que los lugares en los que éstos nacen y se desarrollan, se parecen *muy poco* a lo que eran hace apenas medio siglo. Los actores, el escenario, los instrumentos, los medios de comunicación no son los mismos; las actividades de investigación científica y técnica constituyen un verdadero *sistema de redes*, en el que equipos de investigadores cada vez más especializados, y laboratorios públicos y privados, universitarios e industriales, están en una constante relación de intercambios recíprocos: es precisamente en la institución científica en donde la Internet ha contribuido más a acelerar la cooperación y el la explotación compartida del saber. Por otra parte, si bien la formación para la investigación supone partir de una disciplina determinada, en la práctica la investigación recurre cada vez más a diferentes disciplinas, con transferencias de saberes y de competencias de una disciplina a otra sobre problemas que se abordan según una lógica que asocia inexorablemente las competencias y las capacidades de varias disciplinas.

El ámbito que ilustra mejor esta evolución de la investigación científica hacia una práctica inter y multidisciplinaria es sin duda el de los nuevos materiales (materiales semiconductores, conductores y fotosensibles, cristales, productos químicos ultrapuros, resinas y cerámicas nuevas, etcétera). Así como la realidad no conoce las subdivisiones disciplinarias, los problemas que plantean los nuevos materiales, creados para satisfacer las necesidades de la industria, la economía y la defensa, no pueden ser resueltos por una sola disciplina. Tan cierto es esto último que, desde los años cincuenta, los esfuerzos que han hecho la mayoría de los países europeos y el Japón, siguiendo el modelo estadounidense (con mayor o menor éxito), han apuntado a provocar una mayor interacción entre las disciplinas, en el marco universitario, en tres dimensiones: interacción de las propias disciplinas (acercamiento entre física, química, biología, matemáticas, etcétera), de las instituciones (acercamiento entre universidades, industrias y laboratorios gubernamentales) y de los investigadores (acercamiento entre científicos, ingenieros y administradores).

Esto es lo que algunos sociólogos de la ciencia han llamado el "modo 2" de la producción del saber, por oposición al "modo 1" que correspondería a un estado de la institución, a prácticas y modelos de evaluación que, más que superados, han sido puestos a competir con otros (Gibbons *et alii*, 1994). El "modo 1" perdura en las universidades porque éstas siguen siendo el centro de investigaciones que no están sometidas a demandas urgentes y porque la contratación de docentes

que defienden en ellas sus tesis de doctorado se hace la mayoría de las veces sobre una base disciplinaria. Existen, desde luego, razones que explican la inercia del “modo 1”, en particular la exigencia de una formación rigurosa en una disciplina y mediante el dominio de ella, aunque ciertas disciplinas científicas se han vuelto tan complejas y tan ricas en nuevos saberes acumulados que el tiempo de los estudios universitarios ya no es suficiente para dominarlas. Esto no impide que el “modo 2” generalice prácticas de formación e investigación que asocian cada vez más estrechamente la parte cognoscitiva y la parte institucional del proceso de descubrimiento, en el marco de programas que apelan a varias disciplinas y a diferentes tipos de competencias técnicas para encontrar soluciones a problemas de orden económico y social. Es el caso, en particular, de las investigaciones que se llevan a cabo en el ámbito de las biotecnologías, que no se pueden, de ninguna manera, reducir estrictamente a investigaciones fundamentales o aplicadas. Por otra parte, la alianza entre lo cognoscitivo y lo institucional se realiza de manera natural entre la universidad y la industria, cuyos vínculos son cada vez más estrechos.

La evolución contemporánea de ciertas universidades estadounidenses confirma esta tendencia según la cual el "modelo académico" de investigación científica estaría caduco. En Berkeley se construyen dos enormes edificios destinados a albergar y a hacer trabajar en conjunto a investigadores procedentes de diferentes departamentos - matemáticas, física, química, biología molecular - y se han creado quince nuevos puestos de profesores para estimular la integración de las investigaciones en programas interdisciplinarios (Service, 1999). "Romper" la estructura en departamentos de las universidades es exactamente el objetivo para aprovechar las nuevas fronteras que entreabren la genómica, la biofísica, las ciencias del cerebro y las nanotecnologías. No está demás precisar que este programa, que data de 1999 y cuyo costo se estima en más de 500 millones de dólares, es financiado por fondos privados. De hecho, desde hace algunos años, los fondos públicos, en particular los de la National Science Foundation, tendían a orientar las investigaciones hacia una red de centros interdisciplinarios. Harvard, Stanford y Princeton se esfuerzan a su vez por acabar con las viejas barreras disciplinarias para enfrentar, en diferentes niveles, problemas cuya solución escapa a los enfoques disciplinarios tradicionales. Así el “modo 2” responde actualmente tanto a las necesidades epistémicas nacidas del desarrollo conjunto de la ciencia y la tecnología como a las aspiraciones de las empresas industriales que buscan acelerar el paso de los descubrimientos a las innovaciones.

De esta manera, en todas partes el contrato entre ciencia y sociedad se está volviendo a negociar y es imposible no tener en cuenta que esto plantea inmensos problemas, en particular para los investigadores universitarios. La disminución relativa de los recursos procedentes de fondos públicos destinados a la investigación fundamental conduce a las universidades a depender cada vez más del apoyo de la industria. El horizonte de utilidad y de competitividad comerciales en el que dicho apoyo se brinda pone en entredicho la autonomía que reivindican para sí los investigadores de los laboratorios universitarios. Las nuevas formas de subvención y de producción del conocimiento no solamente modificarán el funcionamiento de las instituciones dedicadas a la investigación, sino que amenazan también con comprometer los valores que hasta ahora ha cultivado el mundo académico: por ejemplo, restringiendo la publicación de los descubrimientos, los derechos de propiedad intelectual y el libre acceso de todos los investigadores a los resultados de la investigación universitaria, o bien provocando conflictos de intereses a partir de una vinculación demasiado estrecha con los organismos que subvencionan la investigación. Esto hace que los descubrimientos aparezcan cada vez más como *objetos*

mercantiles, que no se distinguen ya casi de las aplicaciones compradas y vendidas en el mercado.

El desafío de la credibilidad

Un aspecto aún más profundo es el hecho que, así como el cambio de contexto y de orientación pone en entredicho la autonomía de los investigadores universitarios, su aspiración al aislamiento respecto de la sociedad es cada vez menos sostenible. Hasta hace muy poco eran numerosos los científicos que rechazaban toda responsabilidad en los problemas que planteaban las aplicaciones de sus trabajos de investigación, amparándose en exigencias profesionales o filosóficas. Como científicos, en definitiva, la práctica de la investigación no los ponía en relación sino con la verdad, o bien con sus carreras. Pero si las cosas salían mal, era problema de "otros" - empresarios, ingenieros, banqueros, militares o políticos - es decir de aquellos que "no hacían buen uso de la ciencia". Por cierto, el recurso a los gases asfixiantes durante la Primera Guerra Mundial ya había abierto una brecha en esta buena conciencia. Pero las cosas cambiaron radicalmente con la utilización del arma atómica: como dijo Robert J. Oppenheimer, "con Hiroshima la física conoció el pecado". El alcance planetario de los problemas que plantea la sobreabundancia y la enormidad de este armamento condujo a algunos científicos a comprometerse en la lucha contra la proliferación y la amenaza de una "escalada extrema", (Salomon, 1989; Schweber, 2000).

Asumiendo, en el marco de las Conferencias Pugwash o fuera de él, la idea de la responsabilidad social del científico, algunos influyeron en las decisiones estratégicas de los gobiernos y aportaron su contribución a las negociaciones de los tratados que permitieron reducir dicha amenaza. (Rotblat, 1967; Kubig, 1996)¹. Pero otros, la mayoría, de hecho, sencillamente aprovecharon el generoso apoyo de los militares para llevar a cabo sus investigaciones con la mejor conciencia del mundo, aun cuando desembocaran en la posibilidad de un cataclismo nuclear. Amparados en la coartada de la búsqueda del saber, la seguridad de sus países, para ellos, dependía sólo de las soluciones estrictamente técnicas que permite el progreso de los conocimientos científicos. Como dijo en 1995 Sir Michael Atiyah en el discurso que pronunció con motivo del término de su mandato de presidente de la Royal Society, la complacencia de ciertos científicos respecto del complejo militar-industrial no estaba lejos de parecerse a la prostitución. Denunciaba, entre otras desviaciones y en términos que la extrema izquierda de la época de la guerra fría no habría desaprobado, el costo económico de las armas atómicas y el papel que los científicos desempeñaron en la construcción y el desarrollo del arsenal nuclear que, subrayaba, ha menoscabado de manera desmesurada la integridad de la comunidad científica: "El incremento de la colaboración con los Estados, por motivos a la vez militares e industriales, nos ha sido sin duda provechoso, pero ha habido que pagar un precio por ese apoyo, y la sospecha con la que el público nos considera es una de las consecuencias de ello.(...) Nosotros, científicos, nos encontramos actualmente confrontados a un interrogante crucial: ¿cómo comportarnos respecto del gobierno y la industria para obtener nuevamente la confianza del público? Nos hará falta un poco de humildad. Nada sacamos con sostener que el público está mal informado y que sería necesario reeducarlo." (Atiyah, 1995).

Esto equivalía a descubrir la complejidad y las dificultades de los nuevos papeles ejercidos por los investigadores como productores de conocimientos y de aplicaciones que pueden influir directamente en la marcha del mundo. Papeles que los hacen salir de los laboratorios como

expertos, estrategas, consejeros de los poderes políticos y de los estados mayores militares o industriales, pero también como simples ciudadanos cuya experiencia contribuye a la información general del público. Estamos lejos de la divisa de la Royal Society que les prohibía originalmente "opinar sobre moral y política": por el contrario, la institución científica en su conjunto está cada vez más comprometida en debates de orden político y ético. Se ha hablado, en este aspecto, del dilema de la *doble lealtad*, la que el científico debe, como ciudadano, a la salvación de su patria y la que debe, como hombre entre otros hombres, al destino de la humanidad o, como investigador, a la idea de la ciencia internacional "más allá de las fronteras" (Keynan, 1998). Desde esa época, los nuevos papeles de los científicos y los dilemas que suponen han dejado de estar circunscritos a los debates estratégicos sobre el *arms control* y se han extendido a muchos otros sectores de la investigación científica.

Esto se ve particularmente hoy día en el ámbito biomédico, en el que se plantean interrogantes ante cuya novedad tanto juristas, como representantes de las comunidades religiosas, filósofos y políticos carecen de respuestas. ¿Cómo podrían los científicos decir - o decirse - que "no tienen nada que ver" y desinteresarse de estos debates que el propio desarrollo de la investigación provoca tanto en el plano nacional como internacional? El proceso de la evaluación social de la tecnología, el *technology assessment*, no supone únicamente la idea de una evaluación, sino también la de un proceso - la fórmula, de hecho, remite al modelo de un tribunal (en francés, sería *les assises...*). Ahora bien, en este tribunal, hoy día, la ciencia y no sólo la tecnología se encuentran en el banquillo de los acusados, en un proceso que tiene lugar no solamente en el exterior sino también en el *propio seno* de la comunidad científica. De esta manera, la idea de progreso sin fronteras, que ha alimentado el auge y el triunfo de la institución científica, parece actualmente retroceder ante la idea de una frontera impuesta a la acción de la ciencia: la necesidad de ejercer un control social sobre la investigación irrumpe en el territorio antaño exclusivamente reservado a los debates entre investigadores.

Los tiempos han cambiado de verdad: el rechazo de la *responsabilidad social* de los investigadores resulta cada vez más difícil e infrecuente. El nuevo contrato requiere que los problemas que los propios adelantos de la investigación científica imponen a la sociedad sean mejor tomados en cuenta, esto es que lo sean a tiempo, *entre la incertidumbre y la irreversibilidad*, y por lo tanto que se los conozca mejor. De ello depende no sólo el futuro de nuestras sociedades democráticas sino la supervivencia de la humanidad en un planeta cuyo desarrollo, y quien dice desarrollo dice futuro, corre el riesgo de no ser "sostenible". "El mundo de fines del siglo XX es fundamentalmente diferente del mundo en el cual la empresa científica actual se ha desarrollado. Los desafíos que se plantean a la sociedad son formidables y exigirán de la comunidad científica una información, un saber, una sabiduría y una energía considerables. Contentarse con actuar como de costumbre no será suficiente". Éste es exactamente el mensaje que la presidenta de la American Association for the Advancement of Science formuló al tomar posesión de su cargo (Lubchenco, 1997). Y agregaba que si los científicos esperan un apoyo público de la sociedad, deberían a partir de ahora dedicar una mayor parte de sus capacidades y de sus talentos a la solución de los problemas que enfrenta dicha sociedad.

Fin de siglo, fin de la inocencia: ciertamente, la ciencia no es ajena a las amenazas que pesan sobre el mundo. Pero esto no significa en absoluto el fin de la historia: el fin de la inocencia de la ciencia no supone el fin de la historia, ésta por el contrario se renueva en función del escenario completamente inédito que los adelantos de la ciencia y la tecnología edifican ante nuestros ojos.

Por muy desacreditada que esté la idea de progreso, no escaparemos ni a las conquistas imprevisibles y equívocas del progreso científico y técnico, ni a las incertidumbres y sorpresas de la historia. Debemos enfrentar un mundo nuevo y desconocido, sin ninguna de las ilusiones que mantuvieron al positivismo en la idea de que la ciencia lo puede todo, incluso transformar la naturaleza del hombre o hacer coincidir irrevocablemente el progreso material con el progreso moral. Después del fantasma del "hombre nuevo" que las filosofías de la historia pretendieron construir, ¿cederemos ahora ante el del hombre numérico, neuronal o biónico elaborado por los nuevos demiurgos de la ciencia? Dejemos ese fantasma al imaginario de los autores de ciencia ficción y admitamos que si la ciencia no nos transforma en dioses, la precaución, lejos de significar una descalificación de la inteligencia, es sencillamente la sabiduría de los límites. A veces nos preguntamos con angustia en qué nos transformará el progreso científico y técnico: aún nos falta identificar y elaborar los medios para saber mejor aquello que podemos, y sobre todo debemos, hacer nosotros con él.

Traducido del francés

Nota

1. En 1954, Bertrand Russel publicó un manifiesto, firmado por Einstein dos días antes de su muerte, contra los riesgos de la escalada de los armamentos nucleares. Como consecuencia de ese manifiesto, en 1957 el industrial Cyrus Eaton recibió a un grupo de científicos venidos del Oeste y del Este en su pueblo natal, Pugwash, en Nueva Escocia. De allí proviene el nombre dado a estas reuniones, que se renuevan cada año fuera de Pugwash con arreglo a una organización muy flexible. En el momento crucial de la guerra fría, esas reuniones entre científicos de ambos bandos permitieron preparar los primeros tratados de reducción de los armamentos nucleares, así como las primeras negociaciones que pusieron fin a la guerra de Viet Nam. En 1995, el Premio Nobel de la Paz fue otorgado a las Conferencias Pugwash y a su Secretario General, Joseph Rotblat.

Referencias

ATIYAH, M (SIR) "Anniversary Address by the President" (Discurso de aniversario del Presidente), suplemento de la *Royal Society News*, volumen 8, n° 6, noviembre de 1995, págs. I-IV.

DALTON, R., "Clinton proposes \$ 2,8 billion increase in science funding" (Clinton propone un incremento de 2 800 millones de dólares para financiar la ciencia), *Nature*, 2000, volumen 403, pág. 349.

GALBRAITH, J.K., *Le nouvel État industriel* (El nuevo Estado industrial), Gallimard, París, 1967, pág. 334.

GIBBONS, M. *et alii*, *The New Production of Knowledge: The Dynamic of Science & Research in Contemporary Societies* (La nueva producción del conocimiento: la dinámica de la ciencia y de la investigación en las sociedades contemporáneas), Sage, Londres, 1994.

KEYNAN, A., "The Political Impact of Scientific Cooperation on Nations in Conflict: An Overview" (El impacto político de la cooperación científica en las naciones en conflicto: un examen de conjunto), en Cerreno, A.C. y Keynan, A., *Scientific Cooperation, State Conflict: The*

Role of Scientists in Mitigating International Discord, Anales de la New York Academy of Sciences, 1998, volumen 866, págs.4-6.

KUBIG, B., W., *Communication in the Cold War, The Pugwash Conferences, the U.S-Soviet Study Group and the ABM Treaty: Natural Scientists as Political Actors: Historical Successes and Lessons for the Future* (La comunicación durante la Guerra Fría. Las Conferencias Pugwash, el Grupo de Estudios Soviéticos de los Estados Unidos de América y el Tratado sobre la limitación de los sistemas de proyectiles antibalísticos. Los científicos como actores políticos: logros históricos y lecciones para el futuro), Peace Research Institute, Francfort, 1996.

LUBCHENCO, J., "Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science" (En el umbral del siglo del medio ambiente: un nuevo contrato social para la ciencia), *Science*, n°279 (23 de enero), 1997, págs. 491-497.

OST (Observatorio de las ciencias y de las técnicas), *Science & Technologie : Indicateurs 2000* (Ciencia y tecnología: indicadores para el 2000), Economica, París, 2000.

ROTLAT, J., *Pugwash: A History of the Conferences on Science and World Affairs* (Pugwash: una historia de las Conferencias sobre ciencia y problemas mundiales), Academia Checa de Ciencias, Praga, 1967.

SALOMON, J.-J., comp., "La terreur et le scrupule" (El terror y el escrúpulo), en *Science, guerre et paix*, Economica, París, 1989, págs. 9-35.

SCHWEBER, S.S., *In the Shadow of the Bomb: Oppenheimer, Bethe and the Moral Responsibility of the Scientist* (A la sombra de la bomba: Oppenheimer, Bethe y la responsabilidad moral de los científicos), Princeton University Press, Princeton, 2000.

SERVICE, R. F., "Berkeley Puts All Its Eggs in Two Baskets" (Berkeley pone todos sus huevos en dos canastas), *Nature*, volumen 286, 1999, págs. 226-227.