

LAS REDES CIENTÍFICAS COMO RESPUESTA A LA EMERGENCIA DE LAS NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍAS

EDUARDO ROBLES BELMONT*

RESUMEN

El presente texto trata sobre la construcción de redes de colaboración científica en el área de la nanociencias y nanotecnologías en México, como respuesta a la insuficiencia de infraestructura en las plataformas científica. Este texto se apoya en el estudio de caso de dos redes de colaboración científicas: la primera es una red que limita su campo de acción en el mundo académico y una segunda que mantiene relaciones de colaboración entre instituciones de México y Texas, contemplando también impulsar la vinculación investigación e industria. Esta investigación se basa en una etnografía de laboratorios, incluyendo visitas y una serie de entrevistas a actores de diversos laboratorios y centros de investigación, y en la utilización de herramientas de la cientimetría (conteo y análisis de la producción científica certificada), así como en el análisis de documentos tales como reportes institucionales, textos de política de desarrollo de ciencia y tecnología, y publicaciones de divulgación científica, entre otros.

PALABRAS CLAVE: REDES DE COLABORACIÓN – COOPERACIÓN CIENTÍFICA – NANOCIENCIA – NANOTECNOLOGÍA – ACCESO A INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS – PLATAFORMA CIENTÍFICA

INTRODUCCIÓN

Con el avance que han conocido últimamente las nanociencias y nanotecnologías (NCT), han surgido a nivel global nuevas promesas de avance científico e industrial y, también, controversias sobre el alcance de dichas tecnologías. En el mercado mundial, la nanotecnología representa un nuevo nicho: el instituto Lux Research, en su publicación *The Nanotech Report* 4 (2006), prevé que para el año 2014 el monto total mundial de bienes producidos con nanotecnologías alcance los 2,6 trillones de dólares.

Partiendo del supuesto generalmente aceptado de que el progreso tecnológico de una nación refleja el estado de su adelanto económico y social, México, como otros países en desarrollo, da cada vez más importancia a esta área científica que

* Doctorante en PACTE Politique Organisations, Université Pierre Mendès France, Grenoble, Francia, <roblesbelmont@yahoo.fr>.

es percibida como una oportunidad para pasar el umbral del subdesarrollo. Para el caso de México, le ha sido asignado un lugar no despreciable al desarrollo de las nanotecnologías en la estrategia de la política científica y tecnológica del país.¹ En el seno de la comunidad científica mexicana, la cuestión del papel de las instituciones y centros de investigación públicos en esta nueva revolución industrial² es tema de discusión. Los primeros trabajos académicos sobre el estado de las NCT en México han señalado la ausencia de una verdadera política nacional de desarrollo de estas tecnologías, pero estos trabajos han mostrado también que, a pesar de esto, varios proyectos de investigación en esta área comienzan a ver el día (Foladori y Zayago, 2007; y Delgado, 2007). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de los políticos y de los actores que gestionan estos proyectos, México no logra dejar atrás su dependencia tecnológica con respecto de los países desarrollados. Parece, entonces, que los investigadores mexicanos no esperan que una política nacional sea el catalizador de la progresión de las NCT.

En relación con las inversiones públicas en las plataformas tecnológicas, es indudable que las condiciones de la investigación en los países menos industrializados están en desventaja frente a las condiciones de los países más industrializados. De hecho, estos últimos han puesto en marcha programas de inversiones colosales en dos modelos de construcción de plataformas científicas (Robinson *et al.*, 2007; Vinck, 2006a): las redes de cooperación científica y la concentración geográfica de la investigación. Esto nos lleva entonces a pensar dos casos de situaciones asimétricas del desarrollo de las NCT: en el primer caso, los investigadores disponen de ciertos instrumentos y de los recursos suficientes para llevar a cabo sus proyectos; en el segundo caso, los recursos financieros para crear y mantener plataformas científicas hacen realmente falta. La realidad de la investigación mexicana corresponde al segundo caso expuesto. Entonces, si México se ve afectado por la escasa disposición de recursos tecnológicos, la pregunta es: ¿cómo los investigadores logran efectuar proyectos en el área de las NCT?

Así, para responder a esta pregunta, hemos llegado a la hipótesis que los investigadores mexicanos construyen redes locales e internacionales para paliar la insuficiencia de la infraestructura tecnológica y científica. Estas redes de colaboración científica pueden estar constituidas por entidades académicas e industriales.

Para verificar esta hipótesis, centramos entonces nuestro cuestionamiento

¹ Las conclusiones del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, realizado en noviembre de 2006 en la ciudad de México, consideran el apoyo al desarrollo de la nanotecnología como una acción estratégica.

² Para el caso de México la proposición de la Academia Mexicana de Ciencias sobre las políticas públicas en materia de investigación e innovación, las NCT tienen un lugar importante como eje prioritario de investigación (Paredes, 2006).

sobre la comprensión de las estrategias de los investigadores mexicanos para tener acceso a las plataformas tecnológicas y científicas. Más precisamente, se trata de entender cómo estos investigadores formaron, se adhirieron o adaptaron las redes de colaboración con sus pares de otras instituciones. Las preguntas a aclarar reposan sobre los tipos de intercambios existentes entre los actores –materia gris contra acceso a las plataformas, por ejemplo– y los tipos de recursos que estos movilizan (materiales, humanos, financieros).

Para nuestro análisis entendemos el concepto de red de colaboración científica como una forma de organización del trabajo en la ciencia. Estas redes de colaboración están formadas por laboratorios, centros e institutos de investigación que trabajan en conjunto sobre un tema, un problema o un proyecto (Vinck, 2007). Son redes heterogéneas ya que en el seno de estas encontramos actores provenientes de diferentes disciplinas de la ciencia. Normalmente, las redes de colaboración científica son informales en el sentido de que no cuentan con un reconocimiento institucional; en nuestros estudios de caso analizaremos una red informal y una formal. Para la identificación de los actores de las redes analizadas, consideramos a los objetos humanos y no humanos como actores en la red en los términos propuestos por Callon para el análisis de redes científicas (Callon, 1989). Sin embargo, usamos también la noción de entidad para referirnos a las universidades, laboratorios, centros e institutos de investigación para distinguirlos de los actores humanos.

Cabe mencionar que el presente estudio se inscribe en un proyecto de investigación de tesis doctoral que advierte, en términos generales, sobre la comprensión de la dinámica de la construcción de plataformas tecnológicas y científicas en el campo de las NCT en México, investigación que se interesa por los procesos de planificación, negociación, ajuste y reorientación de las plataformas y de sus reglas de acceso y uso.

METODOLOGÍA Y ESTUDIOS DE CASO

Para abordar nuestro campo de investigación y verificar nuestra hipótesis, hemos utilizado una metodología basada en herramientas tanto cualitativas como cuantitativas. Se trata, de una parte, de realizar una serie de entrevistas semiestructuradas a los investigadores, técnicos, estudiantes y personal administrativo. Para efectuar estas encuestas, nos apoyamos en una guía constituida de una serie de preguntas sobre cuatro ejes: a) el funcionamiento y la estructuración de las plataformas científicas y tecnológicas, b) las colaboraciones científicas, c) las reglas de acceso y uso de las plataformas en cuestión y d) la dinámica de las temáticas y de las actividades de la investigación en las NCT.

También nuestra investigación se apoya en el análisis de documentos tales como reportes institucionales, política de desarrollo de ciencia y tecnología, publicaciones de divulgación científica, entre otros.

Concerniente a la parte cuantitativa, hemos utilizado algunas herramientas de la cientimetría. El interés de lo anterior reside en el hecho de que podemos obtener datos sobre la producción de “conocimientos certificados” (Callon *et al.*, 1993) en el campo de las NCT en México: es decir, trabajos académicos publicados en revistas científicas indexadas (*Materials Letters, Journal of Molecular Structure, Journal of Applied Physics...*). Entonces, consultando la base de datos ISI Web of Science, hemos extraído material para construir gráficos que nos permiten verificar las redes de colaboración y su impacto sobre la productividad científica en México.

Con el fin de identificar los principales actores de la investigación de las NCT en México, hemos efectuado una exploración de los sitios web de las principales universidades mexicanas. Se constituyó una lista de al menos cinco redes de colaboración científica y de más de diez laboratorios y centros de investigación en NCT (véase anexo 1). Como estudios de caso, hemos escogido de esta lista heterogénea dos redes de investigación especializadas en áreas fuertemente ligadas a las NCT. Se trata de dos redes eventualmente diferentes. El primer caso es la Red de Grupos de Investigación en Nanociencias y Nanotecnologías (Regina) de la UNAM: el campo de acción está limitado al mundo académico y es una red informal en el sentido de que no tiene un estatuto institucional. Nuestro segundo estudio de caso es sobre el Centro Internacional de Nanotecnología y Materiales Avanzados (ICNAM, por sus siglas en inglés): es una iniciativa que pretende ir más allá del mundo académico, vinculando la investigación con la industria de la zona fronteriza entre México y Texas. Este instituto está dedicado a la promoción de colaboraciones, redes e interacciones entre investigadores e ingenieros de la Universidad de Texas en Austin y universidades y centros de investigación mexicanos que trabajan en el área de los materiales. Nuestra encuesta se llevó a cabo solo en los centros de investigación de México que participan en el ICNAM.

En fin, nuestra investigación se desarrolló, por parte de Regina, en el Instituto de Física (IF), el Instituto de Investigación de Materiales (IIM) y la Facultad de Química (FQ) de la UNAM. Y concerniente al ICNAM, mantuvimos encuentros y entrevistas con investigadores y estudiantes, así como visitas de laboratorios del CINVESTAV (unidad Querétaro, CINVESTAV-Qro), del Instituto Politécnico Nacional (IPN, Escuela Superior de Física Matemáticas y el Centro de Materiales Avanzados), de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL, Facultad de Ingeniería Civil y de Física Matemáticas), de la Universidad de las Américas en Puebla (UDLA), del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), y del Instituto Potosino de Investigación, Ciencia y Tecnología (IPICYT).

UNA RED EN EL MUNDO ACADÉMICO: REGINA-UNAM

La red Regina fue creada oficialmente en el año 2003, en el seno del Instituto de Física de la UNAM, instituto que fue fundado en 1938 y que está compuesto de los departamentos de Estado sólido, Física experimental, Física química, Física teórica, Materia condensada y Sistemas complejos. La idea de la conformación de esta red surgió en el año 2000, en el curso de una serie de conferencias entre investigadores del Instituto de Física. En dichas exposiciones, la cuestión central era discutir una estrategia para que la UNAM pudiera competir a nivel mundial en el área emergente de las NCT, tomando en cuenta la escasez de instrumentos científicos debida a la baja inversión en infraestructura en la ciencia en México. En el 2004, la red Regina se expandió a otros institutos y centros de investigación de la UNAM. Actualmente, los investigadores que forman parte de la red provienen principalmente del Instituto de Física, del Instituto de Investigación de Materiales, del Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC, ahora llamado Centro de Nanociencias y Nanotecnología, CNYN), del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), de la Facultad de Química, del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), del Instituto de Ciencias Físicas (CCF), del Centro de Investigaciones en Energía (CIE) y del Instituto de Biotecnología (IBT), entre otros.

En el folleto de presentación de Regina figura que dentro de las entidades de investigación básica y aplicada, 60 investigadores, 30 técnicos y 100 estudiantes están organizados en 22 grupos de investigación que efectúan proyectos en las cuatro etapas de las NCT: 1) la teoría y la simulación, 2) la síntesis, 3) la caracterización y 4) la aplicación. Las tres primeras etapas son las que más se desarrollan en la UNAM. La cuarta etapa es la menos desarrollada ya que no se ha establecido una vinculación estrecha con la industria que permita la transferencia de las posibles aplicaciones desarrolladas.³

La investigación en Regina está organizada por 22 líneas de exploración, que son desarrolladas por los grupos que conforman la red: 10 líneas en la vertiente de la teoría y simulación, y 12 líneas en la de síntesis y caracterización. La infraestructura para el desarrollo de todas estas líneas, ya sean experimentales o teóricas, está conformada por 15 laboratorios, entre los cuales, podemos contar laboratorios de simulación (clusters de PC y de Alphas), de síntesis (polímeros, nanomateriales, equipos para síntesis de películas delgadas y para rocío pirolítico,

³ Los proyectos desarrollados en la UNAM en colaboración con la industria en el área de las NCT son mínimos en comparación con los proyectos puramente académicos. En México, la transferencia de tecnología de estas ciencias a la industria es escasa, a pesar de que las investigaciones en materiales encuentran aplicaciones interesantes que pueden agregar valor a las propiedades mecánicas de los materiales.

entre otros) y de caracterización (microscopios de fuerza atómica, microscopios electrónicos de transmisión y de barrido, así como equipos de análisis químico por rayos-x, de difracción electrónica y de espectrometría, etc.). Dentro de la infraestructura de la red Regina se encuentran también un acelerador de partículas Peletrón y el Laboratorio Central de Microscopía de la UNAM, ambos en instalaciones del IF.

Como ya hemos mencionado, la iniciativa de crear la red Regina surgió de una serie de reuniones en el IF donde la cuestión central fue evaluar las capacidades de la UNAM para competir a nivel mundial en el área emergente de las NCT. Una de las cuestiones centrales de las discusiones en dichas reuniones fue la escasez de recursos financieros para el desarrollo de las nanociencias en buenas condiciones. En este contexto, la decisión tomada fue crear una red de colaboración científica enfocada a cubrir cuatro objetivos: promover, organizar, realizar y representar. A continuación se exponen en detalle estos objetivos y las acciones emprendidas por los miembros de la red con el fin de lograrlos.

El primer objetivo es “*promover* la colaboración entre los grupos de investigación de la UNAM, y esto con el fin de crear proyectos interdisciplinarios y racionalizar la utilización del equipo científico”. A través de la colaboración se pretende evitar la duplicidad de los instrumentos científicos, ya que solo para la etapa de caracterización existen equipos costosos como es el caso de los microscopios. La red ha difundido los proyectos de investigación dentro de la UNAM, que a la vez permiten el establecimiento de relaciones informales entre los grupos de investigadores, a través de las cuales se puede tener acceso a ciertos instrumentos científicos.

El segundo objetivo es el de “*organizar* eventos académicos (coloquios, conferencias, seminarios, cursos, etc.) en el tema de nanociencia de forma coordinada, tomando en cuenta los intereses de los grupos de investigación participantes”. La realización de estos eventos ha permitido, de una parte, que los grupos involucrados se conozcan y, de otra parte, dar a conocer los temas desarrollados por los mismos grupos. Además, revisando los programas de dichos eventos se ha constatado que la participación no es exclusiva para los investigadores de la UNAM: en noviembre de 2004, Regina organizó el International Workshop on Nanoscience⁴ que registró 129 participantes, de los cuales 33 fueron externos a la UNAM. Estos eventos académicos son puntos de partida de relaciones de colaboración, algunas de las cuales han madurado y desembocado en proyectos específicos de investigación.

El tercer objetivo es “*realizar* la difusión del trabajo de manera organizada”. Para cubrir este objetivo, los organizadores de la red se sirven de la página web

⁴ Véase el sitio web: <<http://www.fisica.unam.mx/nanoifunam/workshop2004/>>.

de Regina, en la cual se expone la información sobre la red, las líneas de investigación y los grupos que las desarrollan, así como un repertorio bibliográfico de los artículos producidos por sus miembros. También por medio de la página web se tiene contacto con la sociedad civil, ya que ocasionalmente llegan mensajes electrónicos de gente que solicita información sobre las NCT. Otra forma de difundir el trabajo es respondiendo a las invitaciones para asistir a eventos efectuados por otras instituciones (presentaciones de la red en foros y congresos académicos, por ejemplo) y, por otra parte, los coloquios y seminarios organizados por Regina también son espacios para la difusión de los trabajos efectuados por los miembros de la red.

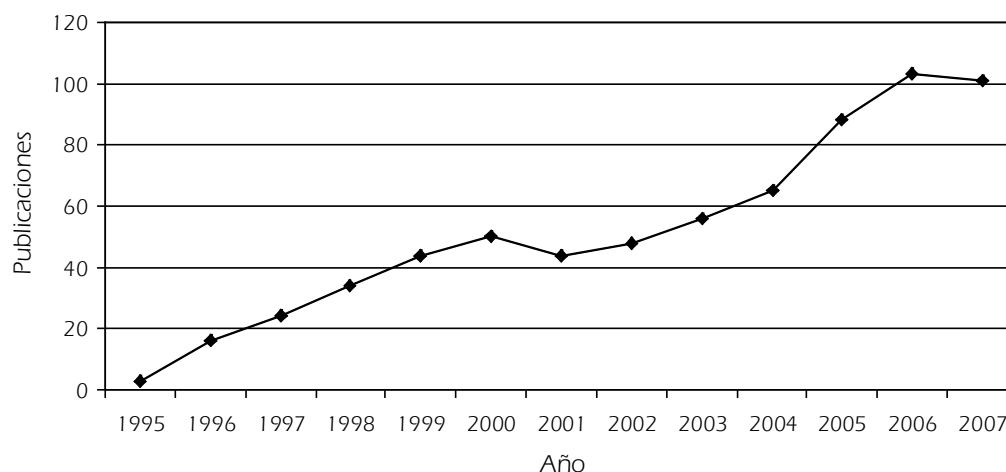
El último objetivo es “*representar* la red Regina en redes equivalentes a nivel nacional e internacional”. Los organizadores de Regina han participado en foros nacionales e internacionales para presentar la red ante sus homólogos. Actualmente, Regina es la referencia como la organización de grupos de investigadores en las NCT de la UNAM. Esto lo constatamos durante nuestra encuesta, ya que en varias ocasiones investigadores de otros institutos evocaron Regina para referirse a la organización de la UNAM que trabaja sobre las nanociencias.

Con el fin de verificar el crecimiento de la colaboración científica dentro de la UNAM, hemos consultado la base de datos de la Science Citation Index, en su versión Web of Science, para obtener datos que reflejen la producción científica de la UNAM⁵ en el área de las NCT. Se trata de estudiar los artículos publicados en revistas indexadas, que son los resultados de los proyectos de investigación desarrollados por los grupos implicados en la red. Con estos datos hemos construido el gráfico 1, en el cual la curva muestra que a partir del año 2004 hay un crecimiento importante en la producción concerniente a las nanociencias, fecha previa a la apertura del campo de acción de Regina a todas las instituciones y centros de la UNAM. Este crecimiento, que se alarga hasta el año 2006 (aunque en 2007 vemos un descenso de dos artículos publicados), se explica con la intensificación de las actividades académicas coordinadas por la red. Por otra parte, los resultados obtenidos comparados con la producción nacional nos muestran que los artículos publicados por la UNAM representan el 42,70% del total nacional (676 artículos de 1.583 durante el período de 1995 a 2007); la universidad es más productiva en estos términos. Según otra fuente, la UNAM ocupa, a nivel internacional, el lugar setenta.⁶

⁵ Para la extracción de estos datos se usó una serie de palabras clave propuesta por Mogoutov y Kahane (2007), centrándonos evidentemente en las publicaciones de instituciones mexicanas; véase Anexo 2.

⁶ Fuente: artículo publicado el 28 de agosto de 2007 en el cotidiano *El Universal*, concerniente a una mesa redonda sobre las nanobiotecnologías en México, evento coordinado por Gian Carlos Delgado R., investigador en el CEIICH-UNAM y miembro de la ReLans.

Gráfico 1. Dinámica de la producción científica en el área de las nanociencias de la UNAM



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos obtenidos a partir de la consulta de la WoS.

Sobre el financiamiento de Regina, cabe señalar que la red no cuenta con un estatuto oficial como entidad o institución, motivo por el cual no dispone de un presupuesto determinado para su funcionamiento. Sin embargo, esta informalidad les permite conservar amplios grados de libertad a los actores para la realización de los eventos ya mencionados. De esta forma, los gastos son cubiertos con recursos provenientes de los proyectos individuales de los investigadores involucrados (proyectos financiados por el CONACYT y por la UNAM) y con el apoyo puntual de los institutos o centros de investigación.

También es importante recalcar el objetivo de la red Regina sobre la racionalización de los equipos científicos. A pesar de que la red no cuenta con un fondo económico para apoyar proyectos (compra de reactivos y equipo científico, becas para estudiantes, movilidad de investigadores y estudiantes, etc.), las actividades académicas organizadas en el marco de la red Regina ponen en contacto a los investigadores de las diferentes entidades de la UNAM que antes no lo estaban necesariamente. Estas nuevas relaciones son, en la mayoría de los casos, relaciones informales de colaboración. De hecho, para los fundadores de esta red, promover las colaboraciones dentro de la UNAM es la estrategia para evitar la “duplicidad” de los equipos científicos, ya que por experiencia saben que el acceso a los equipos científicos por medio de relaciones informales de colaboración puede ser más fácil que a través de relaciones formales interinstitucionales, en las cuales se les exige pasar por trámites burocráticos.

UNA RED TRANSFRONTERIZA: EL ICNAM

El ICNAM es una iniciativa que tiene como principal fin la promoción de la colaboración científica entre la Universidad de Texas (UT) en Austin y varios centros de investigación en México, así como la participación de la industria en ambos lados de la frontera. Del lado mexicano, las instituciones involucradas en esta iniciativa son el CONACYT y el CIMAV. La creación del ICNAM se formalizó en noviembre de 2004 con un acuerdo entre el CONACYT y la UT en Austin, firmado por el presidente mexicano, el director del CONACYT y el vicepresidente de investigación de la UT en Austin. Los primeros proyectos de investigación efectuados dentro del marco del ICNAM vieron la luz en el año 2005.

Las relaciones de colaboración científica entre la UT en Austin y América Latina se estrecharon bajo la dirección del doctor Juan Sánchez, vicepresidente de investigación de la UT en Austin. Concerniente a la participación de México, es importante señalar el papel del doctor José Yacamán, director del ICNAM, quien es uno de los más altos científicos mexicanos en el área de la física y la microscopía. La trayectoria profesional del doctor Yacamán, que se destacó como profesor e investigador en el IF de la UNAM (de la década de 1970 a principios de la década de 1990 y quien fue un impulsor de la creación del laboratorio de microscopía de la UNAM) y que ocupó cargos de alta responsabilidad en el CONACYT (primera mitad de la década de 1990), le ha permitido tejer una amplia red de importantes relaciones, tanto con la comunidad científica mexicana y extranjera como con decisiones políticas, y que han sido movilizadas para el impulso del ICNAM.

Los temas de investigación de interés del ICNAM están principalmente en el área de la ingeniería y las ciencias de los materiales, en la que las NCT han encontrado un gran campo de desarrollo y en la que México cuenta con diversos centros o laboratorios de investigación: institutos y centros de la UNAM (IIM, CFATA, FQ, CCMC, etc.), IPICYT, CIQA, IF-BUAP, CINVESTAV, UANL, UASLP, IPN y el CIMAV, entre otros. La cuestión de la escasez de instrumentos científicos es un punto en común para las instituciones antes mencionadas, y esto aun si algunas de estas instituciones cuentan con ciertos equipos. Lo anterior representa entonces una de las preocupaciones centrales del ICNAM (la vinculación con la industria es otro punto central, que abordaremos más adelante), motivo por el cual este “ofrece la posibilidad de utilizar el equipo de investigación de clase mundial en la UT y en instituciones de América Latina”. Para lograr este objetivo, el ICNAM cuenta con una estrategia que consiste en efectuar una serie de actividades (véase cuadro 1), todas dirigidas hacia el establecimiento de condiciones favorables para la creación de redes de investigación. Para la gestión de estas actividades, el ICNAM dispone de una representación de cada lado de la frontera; del lado mexicano el representante se encuentra en el CIMAV y del lado estadounidense, en el Departamento de Ingeniería Química de la UT en Austin.

Cuadro 1. Actividades del ICNAM

Principales actividades del ICNAM
Establecer redes de investigación.
Organizar talleres en las áreas de investigación en nanotecnología y ciencias de los materiales.
Realizar reuniones de actualidad.
Estimular la industria a ambos lados de la frontera.
Ofrecer cursos de formación en nuevas técnicas disponibles en UT en Austin en particular los servicios disponibles en el TMI.
Promover el intercambio de estudiantes de posgrado.
Desarrollar la supervisión conjunta de los alumnos de posgrado entre Texas y los científicos de América Latina.
Promover el intercambio de posdoctorado.
Promover los intercambios de alto nivel de investigación.
Proporcionar apoyo complementario para estancias/sabático.
Preparar materiales educativos.
Brindar soporte para el uso común de equipos en una red de investigación.
Brindar apoyo a las visitas y talleres de verano para el desarrollo de los cursos en los materiales innovadores para las Américas.

Fuente: <<http://www.engr.utexas.edu/icnam/index.htm>>.

Las actividades propuestas por el ICNAM se concretizan por medio de proyectos de investigación que deben ser presentados en conjunto por una parte mexicana y una de la UT (u otra institución estadounidense participante), y estos no pueden tener una duración mayor a los 18 meses. En términos de límites de fechas, no existe una convocatoria para la presentación de los proyectos. Su aceptación está condicionada a que el financiamiento demandado sea utilizado para cubrir los costos del transporte, de la manutención, por el uso de los instrumentos⁷ y de los seguros médicos de los investigadores durante la estancia. Para el financiamiento de los proyectos, ambas partes de la frontera destinan cantidades

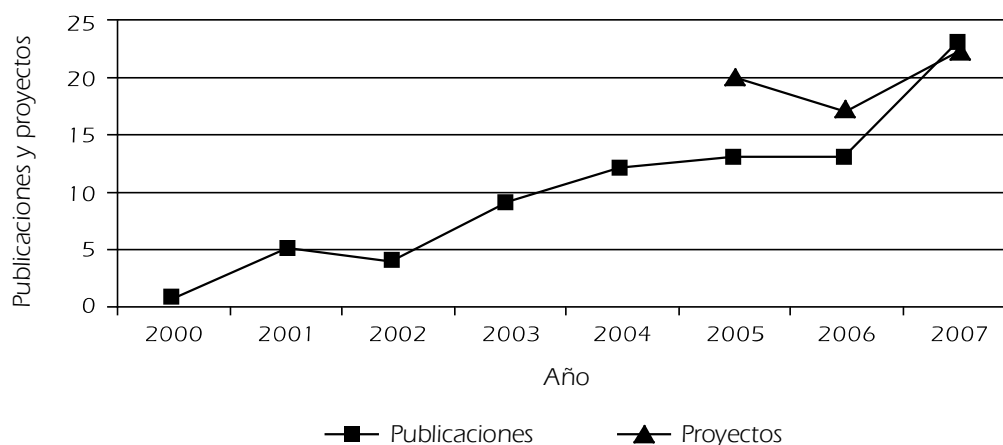
⁷ La utilización de los instrumentos en los laboratorios visitados en nuestra encuesta implican un “costo de utilización” (mantenimiento, energía, técnicos, etc.) que son cubiertos por los recursos financieros destinados a los proyectos de investigación. Por ejemplo, los costos de utilización de un microscopio de barrido electrónico van de treinta a setenta dólares estadounidenses por sesión.

iguales. Del lado mexicano, el financiamiento proviene del CONACYT, y del lado de Estados Unidos, el financiamiento se canaliza por medio de la UT, y proviene de agencias estatales estadounidenses (National Science Foundation, National Institutes of Health y Department of Energy). La industria y las fundaciones pueden ser también otras fuentes de financiamiento.

La infraestructura del ICNAM está conformada, principalmente, por la instrumentación científica de los centros e institutos de investigación de la UT que participan en la red. Se trata del Instituto de Materiales de Texas (TMI), del Centro para la Ciencia y Tecnología Nano y Molecular (CNM) y del Centro de Investigación de Materiales Avanzados (AMRC), así como del Instituto de Química Teórica, del Centro de Investigación en Microelectrónica (Microelectronics Research Center) y del Centro de Supercómputo. Por otra parte, cabe mencionar que la red no solo se limita a trabajar en territorio texano: en enero de 2007 se llevó a cabo una estancia de tres investigadores del CCMC-UNAM en el Pacific Northwest National Laboratory (PNNL). En fin, el interés de trabajar en colaboración con la UT radica en la base sólida que representa la infraestructura de estos institutos y en el peso de sus programas en ciencia de los materiales.

Al igual que con el caso de la red Regina, hemos consultado la base de datos de la Science Citation Index y extraído información sobre las publicaciones firmadas por investigadores de instituciones mexicanas en colaboración con la UT (un total de 77 artículos). A partir de los datos obtenidos se construyó el gráfico 2. La curva de este gráfico muestra que antes de la creación del ICNAM ya existía una colaboración entre algunas de las instituciones que hoy en día participan en esta red. Sin embargo, la producción de dichas colaboraciones es pobre en comparación con el número de proyectos aprobados. Es a partir del año 2007 que la curva muestra una aceleración considerable en las publicaciones; refleja, entonces, que algunos de los resultados de las colaboraciones en el seno del ICNAM, que comenzaron en el año 2005, se han publicado hasta el año 2007. En la misma gráfica aparece una curva que corresponde a los proyectos efectuados en el marco del ICNAM en el período 2005-2007. Comparando ambas curvas, verificamos que el impacto de las colaboraciones sobre la producción científica, que se iniciaron en el 2005, se refleja en el año 2007. De hecho, hemos corroborado que los mismos investigadores de la UT en Austin y de la Facultad de Física de la UANL que han colaborado en al menos cuatro proyectos coordinados por el ICNAM (en 2005) publicaron artículos en 2007.

Con base en los datos recolectados sobre los proyectos financiados en el marco del ICNAM, construimos los dos gráficos siguientes que representan la red de colaboración del ICNAM en 2005 (gráfico 3) y en 2007 (gráfico 4). En ellos vemos las interacciones que han mantenido los actores de la red en cada uno de los dos períodos. Cada nodo representa una institución o centro de investigación, y la

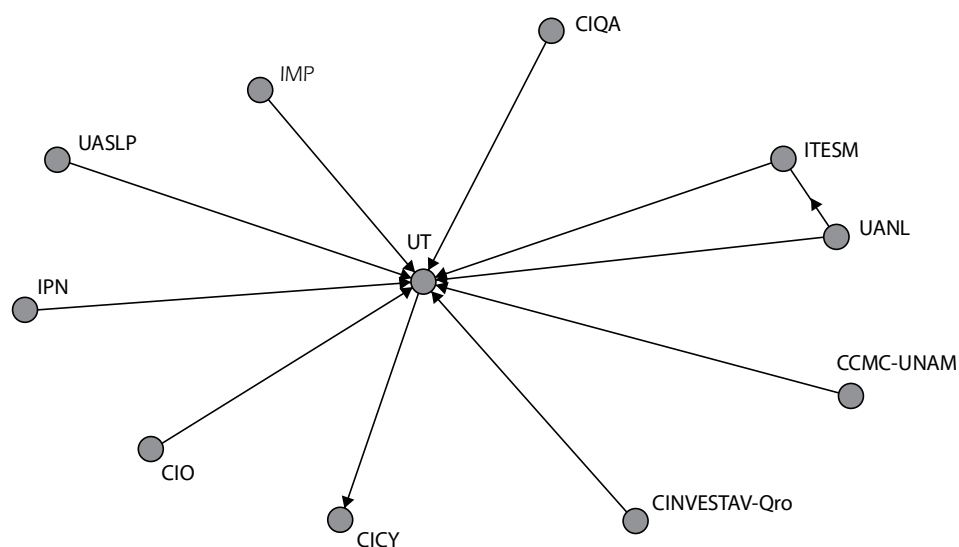
Gráfico 2. Dinámica de las publicaciones y proyectos con la UT

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos a partir de la consulta de la WoS y <<http://www.engr.utexas.edu/icnam/news/index.htm>>.

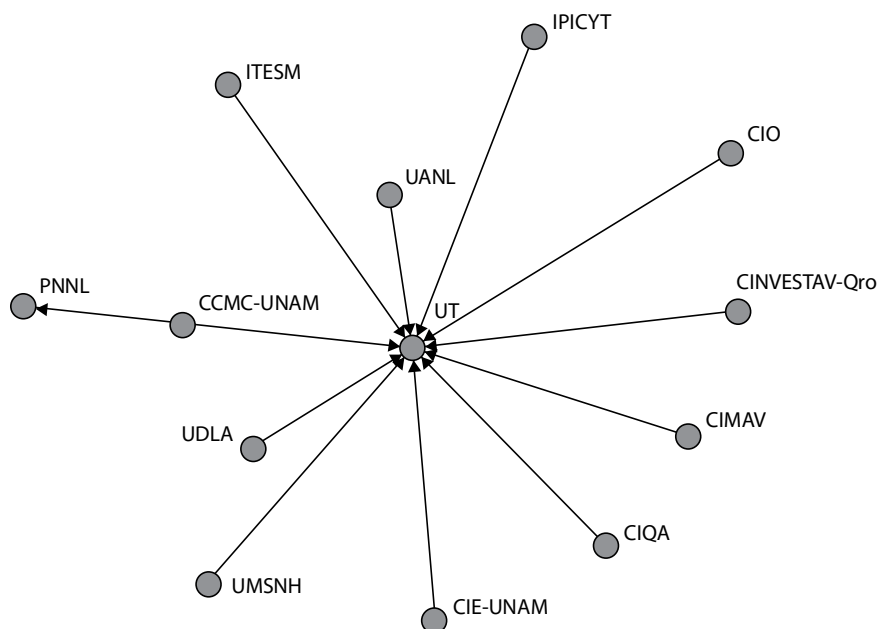
dirección de las flechas indica el sentido de la movilidad de los investigadores o estudiantes durante los proyectos. Es importante subrayar que la mayoría de la movilidad es de las entidades mexicanas hacia las entidades de la UT. Los pocos casos de movilidad inversa conciernen, como lo veremos más adelante, a actividades de promoción de la colaboración interinstitucional.

La comparación de los gráficos 3 y 4 muestra la expansión de la red del ICNAM, pues en el año 2007, el número de instituciones mexicanas fue de once contra diez en 2005; también en el año 2007 el PNNL adhiere a la red. Sin embargo, no todas las instituciones presentes en 2005 continuaron participando con proyectos de colaboración, esto al menos en el marco del ICNAM. Vemos entonces que en el año 2007 ya no figuran la UASLP, el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo), el CICY, y el IPN, pero otras instituciones de prestigio adhieren la red: IPICYT, CIMAV, CIE-UNAM, UMSNH, UDLA y PNNL. La institución mexicana que con más frecuencia efectúa proyectos es el CIMAV y esto puede ser a causa de las fuertes relaciones que mantienen investigadores de este centro con sus homólogos en la UT en Austin.

Durante el encuentro de algunos de los actores que han participado en los proyectos del ICNAM, hemos constatado que las actividades realizadas durante el período analizado son de tres tipos: las enfocadas al uso de instrumentos, que en gran parte son llevadas a cabo por estudiantes de doctorado y que parten a los laboratorios extranjeros con muestras de sus experimentaciones o síntesis, y en ocasiones de sus colegas de laboratorio, por períodos cortos, con el solo fin de hacer la caracterización de los materiales que han sintetizado en casa. Las

Gráfico 3. Red de colaboración del ICNAM en el año 2005

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos a partir de la consulta de la WoS y <<http://www.engr.utexas.edu/icnam/news/index.htm>>.

Gráfico 4. Red de colaboración del ICNAM en el año 2007

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos a partir de la consulta de la WoS y <<http://www.engr.utexas.edu/icnam/news/index.htm>>.

segundas son actividades de colaboración entre académicos y científicos confirmados que pretenden ir más allá de la utilización de los instrumentos; se trata de actividades que consisten en impartir seminarios, en participar en discusiones con sus homólogos, en utilizar también los instrumentos y, por supuesto, en discutir las interpretaciones de los datos arrojados por ellos, entre otras. Y por último, las actividades consagradas a la promoción de las colaboraciones entre los laboratorios implicados en el ICNAM (presentaciones de equipos y temas de investigación, por ejemplo). En fin, vemos que todas estas actividades están orientadas a la creación de redes de colaboración y que la cuestión del acceso a los instrumentos ocupa un lugar importante.

Anteriormente, hemos dicho que los objetivos de esta red van más allá de los límites del mundo académico. En efecto, el otro objetivo central del ICNAM es promover la vinculación universidad/industria. La situación geográfica del ICNAM es también una región que favorece las relaciones de las universidades con las empresas de clase mundial que están instaladas sobre los dos lados de la frontera. Es en este contexto que el ICNAM pretende jugar un rol importante en el seno del futuro corredor industrial Houston–Saltillo y en el desarrollo de altas tecnologías en esta región fronteriza.

La relación entre el ICNAM y los centros de investigación del norte de México permitirán, según los planes industriales de los dos lados de la frontera, la creación de un corredor industrial que se extenderá de Houston hasta Saltillo. La ciudad de Austin, que está dentro del corredor, es uno de los más importantes lugares en Estados Unidos que acoge empresas de alta tecnología: Nanotechnologies Inc., Sematech, Motorola, IBM, entre otras. Al sur de la frontera se encuentra la ciudad de Monterrey, que es considerada el más importante centro industrial de México. Además, el gobierno local ha puesto en marcha actualmente una serie de políticas que enfocan a la renovación tecnológica de la industria de la región, así como a la mejora de la relación universidad/industria. Para lograr lo anterior, los poderes públicos y económicos locales han lanzado la construcción de la Ciudad Internacional del Conocimiento y del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), ambos en la ciudad de Monterrey. Este último es una aglomeración de “empresas y centros de investigación y desarrollo” con el fin de fomentar las actividades de innovación y progreso tecnológico, así como de facilitar la transferencia tecnológica al sector productivo. Las instituciones involucradas en la iniciativa del proyecto del PIIT son el CONACYT, la UANL, el ITESM, la UDEM y el Gobierno del Estado de Nuevo León. En el PIIT, se han designado cinco áreas de oportunidad: biotecnología, nanotecnología, mecatrónica, tecnologías de información y comunicaciones, y salud. Concerniente al área de la nanotecnología, el CIMAV jugará un papel importante ya que se ha inaugurado el Laboratorio Nacional de Nanotecnología en las instalaciones del PIIT (marzo de

2008). Además, el CIMAV comenzó, en 1996, con investigaciones en el área de materiales avanzados y es actualmente una de las pocas instituciones de investigación que otorga un lugar importante a la vinculación con la industria, teniendo una estrategia para la creación de proyectos en colaboración con el sector productivo. De hecho, este centro cuenta con un departamento de promoción y creación de patentes, algunas de las cuales ya han sido transferidas a la industria. Uno de los objetivos de la sede del CIMAV, en el PIIT, es que sirva como puente para la transferencia de la tecnología hacia el sector productivo, aprovechando la experiencia del mismo CIMAV y la tradición del acercamiento entre la industria y la universidad que caracteriza a la región de Monterrey.

El caso del ICNAM, al igual que el de la red Regina, se sustenta principalmente en el acceso a los equipos científicos con el fin de paliar su escasez. Lo anterior constata entonces que las relaciones de colaboración con centros de investigación de países desarrollados (Estados Unidos para nuestro estudio de caso) son las más atractivas para los científicos mexicanos, y por lo tanto estas relaciones forman parte de las estrategias para el desarrollo de sus proyectos de investigación cuando carecen de los equipos científicos necesarios. Una prueba de que esto representa una solución a dicha escasez es que dos años más tarde vemos la publicación de artículos en los cuales la caracterización de los nuevos materiales ha sido efectuada en instalaciones de la UT y financiada por fondos provenientes del ICNAM.

CONCLUSIÓN

A modo de conclusión, los dos estudios de caso nos han permitido verificar nuestra hipótesis de inicio, así como identificar los principales actores humanos y no humanos presentes y los objetos intermedios que se movilizan en el seno de ambas redes (nuevos materiales sintetizados o fabricados, por ejemplo). En efecto, la creación de las redes analizadas ha servido para que los investigadores mexicanos logren cubrir eventualmente la falta de infraestructura disponible en los laboratorios y centros de investigación. Además, estas dos redes heterogéneas aún no están estabilizadas y a pesar de que a través de estas relaciones los actores, tanto en instituciones públicas como privadas, han logrado paliar la insuficiencia de instrumentación, la cuestión de la vinculación universidad/industria queda pendiente. Ciertamente es que las redes están abiertas a la participación de la industria, pero esta última parece no tener mucho interés en invertir en investigación y desarrollo en las NCT (los proyectos en las NCT financiados por la industria que se desarrollan actualmente son escasos). En nuestra encuesta también identificamos otras redes de colaboración y nuevos proyectos de infraestructura en las NCT, tales como la propuesta del CONACYT de crear una Red Nacional de Grupos y

Centros de Investigación (que responde en parte a las últimas políticas en ciencia y tecnología en México) y la construcción de nuevos laboratorios (unidad del CIMAV en el PIIT Monterrey, el Silicon Border, los laboratorios nacionales LINAN del IPICYT y el de Nanotecnología del CIMAV, el laboratorio del IPN en Nanotecnología, entre otros), con los cuales se pretende optimizar el uso de los equipos científicos disponibles.

Sobre Regina podemos concluir que el campo de acción de la red está limitado al mundo académico. Además, ninguno de los actores entrevistados (IF, IIM y FQ) desarrolla proyectos vinculados directamente con la industria. Por otra parte, también hemos visto que uno de los fines de la red consiste en optimizar los recursos materiales disponibles, principalmente la instrumentación para la caracterización (microscopia, difracción de rayos-x, raman...). Esto último, como ya lo mencionamos, evita la duplicidad de los equipos científicos, lo cual pretende facilitar el acceso a los equipos existentes dentro de la UNAM para los miembros de la red.

Por otra parte, y en relación con nuestro segundo estudio de caso, hemos puesto en evidencia que la movilidad de investigadores y estudiantes de posgrado del sur hacia el norte, ha dado buenos resultados en la red del ICNAM; hecho que ha atraído la atención de otros actores de ambas partes de la frontera para adherir esta red. Sin embargo, en este caso nos interrogamos si una red de este tipo es saludable para la soberanía tecnológica de México. Una pregunta que se nos plantea es sobre el impacto de las relaciones de colaboración con grupos del extranjero en la definición de las temáticas de investigación.

Considerando que la diferencia entre nanociencia y nanotecnología radica en que la primera estudia los fenómenos de la materia a la escala nanométrica y que la segunda se refiere al estudio y desarrollo de posibles aplicaciones a esta misma escala, vemos que la conformación de ambas redes responden a dos concepciones diferentes donde: la red Regina está orientada a las nanociencias, y varios centros que participan en el ICNAM, así como los objetivos de este último, están orientados hacia la nanotecnología. Cabe señalar que en ambas redes los instrumentos científicos son la clave para su concepción y construcción.

Esta investigación resalta una vez más la importancia del rol de los instrumentos científicos en las estrategias de los investigadores en el área de las NCT, importancia que ya ha sido señalada por Vinck (2006b) y Hubert (2007) en dicha área, y por Callon (1989) y Latour y Woolgar (1996) en otras disciplinas de la ciencia. Para el caso de las NCT, es difícil imaginar un investigador experimental que no tenga acceso a un microscopio de barrido electrónico para caracterizar las nanopartículas que ha fabricado, o un investigador teórico que no tenga acceso a un cluster o una supercomputadora para efectuar la simulación de la estructura de un nanomaterial.

ANEXO 1. LISTA (NO EXHAUSTIVA) DE LAS REDES Y CENTROS DE INVESTIGACIÓN EN LAS NCT EN MÉXICO

- Centro de Diseño de MEMS de la UPAEP, <<http://www.upaep.mx>>.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV).
- Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología de la Universidad de Veracruz.
- Ciudad Internacional del Conocimiento de Monterrey, <<http://www.mtycic.com.mx/>>.
- Fundación México-Estados Unidos por la Ciencia (FUMEC), <<http://www.fumec.org.mx/espanol/nosotros/origen.htm>>.
- ICNAM, <<http://www.engr.utexas.edu/icnam/index.htm>>.
- Institutos y centros de investigación de la UNAM: IF, FQ, CNYN (antes CCMC), CIE, CCADET, CFATA, IIM, IBT, etcétera.
- Instituto de Física de la BUAP, Puebla.
- Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, IPYCIT.
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Universidad de las Américas, Puebla (Programa de licenciatura en Nanotecnología e ingeniería molecular).
- Instituto Mexicano del Petróleo, México, DF.
- Centro de Investigaciones Ópticas, Guanajuato.
- Centro de Investigaciones Química Aplicada, CIQA.
- Centro de Investigaciones Avanzadas, CINESTAV-IPN.
- Laboratorio de Nanociencias y Nanotecnologías de la UANL, <<http://www.fcfm.uanl.mx/ifi/nanociencias.htm>>.
- Laboratorio de Nanoestructuras y Semi-conductores del CINVESTAV (IPN), <<http://www.fis.cinvestav.mx/nanosem/>>.
- Laboratorio de Nanotecnología e Ingeniería Molecular del Departamento de Química de la UAM (Iztapalapa).
- Laboratoire National de Nanoélectronique del INAOE, <<http://www.inaoep.mx/>>.
- Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT) de Monterrey, <http://www.piit.com.mx/home_ESP.html>.
- REDINN, <<http://www.viep.buap.mx/>>.
- Regina, <www.nano.unam.mx>.
- Red de Laboratorios de Investigación e Innovación en MEMS.
- Red Nacional de Grupos y centros de Investigación (RNGCI) del CONACYT.
- Silicon Border, <<http://www.siliconborder.com/>>.

ANEXO 2: CONSULTA DE LA BASE DE DATOS ISI (SCIENCE CITATION INDEX EXPANDED) EN SU VERSIÓN WEB OF SCIENCE

La metodología usada en nuestra consulta está basada en la primera etapa del método propuesto por Mogoutov y Kahane (2007). Se trata de una ecuación de búsqueda conformada por el prefijo “nano” y la exclusión de términos que contengan este prefijo pero que no están relacionados con el campo de las NCT. Para obtener solo los datos relacionados con las instituciones mexicanas, hemos añadido a la búsqueda la palabra “mexico” en el campo CU (*country*) del motor de búsqueda de la Web of Science. La ecuación final es la siguiente:

TS=((NANO* OR A*NANO* OR B*NANO* OR C*NANO* OR D*NANO* OR E*NANO* OR F*NANO* OR G*NANO* OR H*NANO* OR I*NANO* OR J*NANO* OR K*NANO* OR L*NANO* OR M*NANO* OR N*NANO* OR O*NANO* OR P*NANO* OR Q*NANO* OR R*NANO* OR S*NANO* OR T*NANO* OR U*NANO* OR V*NANO* OR W*NANO* OR X*NANO* OR Y*NANO* OR Z*NANO*) NOT (NANO2 OR NANO3 OR NANO4 OR NANO5 OR NANOSECOND* OR NANOLITER*)) AND CU=(mexico)

REFERENCIAS

- Callon, M. (dir.) (1989), *La science et ses réseaux: genèse et circulation des faits scientifiques*, París, La découverte.
- Callon M., J. P. Courtial y H. Penan (1993), *La scientométrie*, París, PUF.
- Conocimiento e innovación en México: hacia una política de Estado. Elementos para el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa de Gobierno 2006-2012, noviembre 2006.
- Delgado Ramos, G. C. (2007), “Nanotecnología, paradigma tecnológico de vanguardia”, *Contribuciones a la Economía*, en <<http://www.eumed.net/ce/>>, consultado el 5 de enero de 2007.
- Foladori, G. y E. Zayago (2007), “Tracking Nanotechnology in Mexico”, *Nanotechnology Law & Business Journal*, vol. 4, N° 2, pp. 211-222, <<http://estudiosdeldesarrollo.net/relans/documentos/Tracking-nano-in-MEXesp.pdf>>, versión en español, consultada el 8 de octubre de 2007.
- Hubert, M. (2007), “Hybridations instrumentales et identitaires dans la recherche sur les nanotechnologies. Le cas d’un laboratoire public au travers de ses collaborations académiques et industrielles”, *Revue d’anthropologie des connaissances*, vol. 2007/2, N° 2, pp. 243-266.
- Latour, Bruno y Steve Woolgar (1996), *La vie de laboratorio: la production des faits scientifique*. La découverte, edición francesa.

- Mogoutov, A. y B. Kahane, (2007), "Data search strategy for science and technology emergence: A scalable and evolutionary query for nanotechnology tracking", *Research Policy*, doi:10.1016/j.respol.2007.02.005
- Paredes, L. O. (2006), *Por un nuevo paradigma de política pública para el conocimiento y la innovación en México*, México, Academia Mexicana de Ciencias.
- Robinson, D. K. R. *et al.* (2007), "Technological agglomeration and the emergence of clusters and networks in nanotechnology", *Research Policy*, doi:10.1016/j.respol.2007.02.003.
- The Nanotech Report (2006), 4ta. edición, Lux Research.
- Vinck, D. (2006a), "La construcción de un modelo local de trabajo colectivo: el caso de un polo de investigación en micro y nanotecnología", Bogotá, ESOCITE.
- (2006b), "L'équipement du chercheur: comme si la technique était déterminante", *ethnographiques.org*, N° 9, febrero [on line].
- (2007), *Sciences et société: sociologie du travail scientifique*, París, Amarnd Colin. <<http://www.ethnographiques.org/2006/Vinck.html>>, consultada el 27 de septiembre de 2007.

Artículo recibido el 1° de diciembre de 2008.

Aceptado para su publicación el 1° de febrero de 2009.