

## **REDES SOCIOCÉNICAS DE COGESTIÓN DE CONOCIMIENTO EN NANOTECNOLOGÍAS EN COLOMBIA: ¿ENTRE LA VISIBILIDAD INTERNACIONAL Y LA APROPIACIÓN LOCAL?**

CONSTANZA BEATRIZ PÉREZ MARTELO\*  
DOMINIQUE VINCK\*\*

### **RESUMEN**

¿Cómo se organizan las redes de gestión de conocimiento para desarrollos en nanotecnologías en Colombia? ¿Cómo esas redes combinan la visibilidad internacional con la apropiación local? Este trabajo aborda esas preguntas partiendo de la noción de *conocimiento aplicable no aplicado* (CANA) planteada por Pablo Kreimer (2006), y a través del estudio de tres casos colombianos de gestión de conocimiento en ese campo tecnológico. Los hallazgos dirigen a repensar el concepto de CANA, ya que los casos indican una coconstrucción de lo local con lo global y una generación y uso del conocimiento no estrictamente separadas ni unidas de manera lineal. Para ello, se propone la noción de cogestión de conocimiento, en la que los roles de usuario y generador de conocimiento son intercambiables en el tiempo, y los aprendizajes atraviesan las instituciones y las disciplinas.

*PALABRAS CLAVE: NANOTECNOLOGÍAS – COLOMBIA – CONOCIMIENTO APLICABLE NO APLICADO – GESTIÓN DE CONOCIMIENTO – REDES SOCIOCÉNICAS*

### **INTRODUCCIÓN**

El tema de la apropiación social del conocimiento científico y tecnológico ha tenido un creciente interés en los países latinoamericanos. En ese sentido, Pablo Kreimer (2006) plantea la noción de *conocimiento aplicable no aplicado*

\* Doctorante en Ingeniería, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, y en Sociología Industrial, Universidad Pierre Mendès, Grenoble, Francia. Profesora de la Universidad Central de Bogotá, Colombia. <cperez@uniandes.edu.co>.

\*\* Profesor de Sociología, Universidad Pierre Mendès, Grenoble, Francia; miembro del Centro de investigación PACTE Política-Organizaciones (CNRS, Universidad de Grenoble). <Dominique.Vinck@upmf-grenoble.fr>.

(CANA)<sup>1</sup> como aquel cuyos productos aumentan el prestigio y la visibilidad de los investigadores a nivel internacional, con pocos procesos de apropiación local. Este trabajo aborda esa preocupación para un área que ha sido definida en Colombia como estratégica para el desarrollo nacional (DNP, 2006) y cuyos impactos generan interrogantes (Invernizzi y Foladori, 2006): las nanotecnologías.<sup>2</sup> Las preguntas que dirigen esta indagación son: ¿cómo se organizan las redes de gestión de conocimiento?, ¿cómo esas redes combinan la visibilidad internacional con la apropiación local? La aproximación se realiza estudiando inicialmente el contexto de desarrollo de las nanotecnologías en Colombia, para luego centrarse en tres casos: uno en el campo de nanomateriales y dos en el de nanotecnologías con aplicaciones a la salud.

Para la indagación del contexto de desarrollo de las nanotecnologías en Colombia se tomaron como fuentes principales de información documentos gubernamentales de ciencia y tecnología, memorias de eventos en nanotecnologías y la base de datos ISI Web of Knowledge. En los documentos gubernamentales y memorias de eventos se analizaron las áreas asociadas a nanotecnologías y los actores involucrados. La búsqueda en la base de datos ISI Web of Knowledge se realizó utilizando como palabra clave nano,<sup>3</sup> período 2001-2008 y territorio Colombia. Los resultados arrojaron las publicaciones con al menos un autor afiliado a una institución con domicilio en Colombia para el período en cuestión. Se hizo una posterior revisión del contenido de los resúmenes de los artículos encontrados, con el fin de verificar su asociación a las áreas de nanotecnologías. Esta información fue un insumo importante para la identificación de casos

<sup>1</sup> En su artículo “La recherche industrielle: le mal français”, Callon plantea el concepto de investigación aplicada no aplicable (RANA, por sus siglas en francés). Este tipo de investigación “no es ni investigación básica, ni verdadera investigación aplicada, puesto que, dado que se orienta alrededor de problemas más bien técnicos, no interesa verdaderamente a la industria” (Callon, 1986a: 7). El tratamiento de las preguntas que motivan el presente trabajo, si bien es cercano a la idea de RANA propuesta por Callon, se centra más en la perspectiva de lo local y lo global que adopta Kreimer en su concepción de CANA.

<sup>2</sup> Actualmente, existen controversias tanto en la definición de la nanotecnología como en su diferenciación con la nanociencia. En este trabajo, se utilizará el término nanotecnologías (en plural) para referirse tanto a desarrollos tecnológicos, como a avances científicos que podrían, en un sentido estricto, ser abarcados por la nanociencia.

<sup>3</sup> Existe un debate en cientometría sobre la metodología de recolección de los datos bibliográficos y de las patentes. Huang *et al.* (2008) hicieron un análisis comparativo de las estrategias de búsqueda bibliométricas, incluyendo interrogaciones léxicas y léxicas evolutivas, análisis de citas, y el uso de los periódicos centrales (*core journal*) para encontrar los artículos de la nanotecnología. Encontramos que Mogoutov y Kahane (2007), con su estrategia léxica evolutiva de la interrogación, extraen el número más elevado de artículos específicos del Web of Science (para 2006). Sin embargo, muestran que la mayoría de las interrogaciones léxicas (Glanzel *et al.*, 2003; Noyons *et al.*, 2003; Porter, 2008; Mogoutov y Kahane, 2007) producen resultados similares para los resultados centrales en términos de temas, países e instituciones.

a estudiar pero no fue definitiva en la selección, ya que estas bases de datos dejan por fuera a actores cuyas actividades no se ven reflejadas en publicaciones de impacto internacional. Por esta razón, la selección de los casos se hizo combinando el método *snowball* (Wasserman y Faust, 1999; Bernard, 2006) con los criterios de relevancia para la pregunta de investigación, heterogeneidad (Flick, 2007) y facilidad de acceso al terreno empírico. Se realizó un sondeo inicial con investigadores asociados a las nanotecnologías, quienes identificaron algunos actores destacados en el tema. De los casos mencionados con mayor frecuencia por las personas consultadas, se verificó cuáles por su naturaleza permitían explorar la pregunta de investigación en sus dimensiones local y global, además de la posibilidad de acceso a información de fuentes primarias y/o secundarias para el estudio. La heterogeneidad se logró tomando casos de origen diverso (dos iniciativas autoorganizadas y otra asociada a una política gubernamental). El trabajo sobre el terreno buscó seguir los desarrollos de los actores en diversos ámbitos (Marcus, 1995; Vinck, 2003). Se utilizaron distintos métodos de recolección de datos. Para los casos de NanoCiTec y Nanopuente A-V se realizaron entrevistas semiestructuradas con los directores y se asistió a comunicaciones públicas orales de sus investigadores. También se revisó información de fuentes secundarias, tales como las páginas web, memorias de eventos, artículos y comunicados de prensa. Para NanoCiTec se aplicaron además entrevistas semiestructuradas con algunos de los investigadores. El análisis del Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM) tomó como base la información publicada en su página oficial (<http://calima.univalle.edu.co/cenm/index.html>) y en otras fuentes secundarias de datos. Se usó el *software* UCINET (Borgatti, Everett y Freeman, 2002) para manejo cuantitativo<sup>4</sup> y gráficos de redes.

El marco de análisis de los casos se basa en la teoría del actor-red (Callon, 1986b, 1995, 1998; Vinck, 1999), tanto a nivel metodológico como conceptual. A nivel metodológico se toman tres principios definidos por Callon (1995): a) no establecer *a priori* la identidad de los actores, b) usar la misma forma de análisis para aspectos sociales y técnicos, así como para su descripción, y c) no hacer distinciones *a priori* entre hechos naturales y sociales.

A nivel conceptual, se toman dos nociones: sociología de traducción y red sociotécnica. La primera se refiere al proceso mediante “el cual se negocia la identidad de los actores, sus posibilidades de interacción y sus márgenes de maniobra” (Callon, 1995: 263). La traducción abarca varios momentos que se traslanan: problematización, o interdefinición de actores y construcción de puntos de pasaje obligado dentro de la red; interesamiento y enrolamiento, o defini-

<sup>4</sup> El énfasis de este trabajo no es la caracterización cuantitativa de las redes estudiadas, sino el seguimiento de su construcción. Se utilizan algunas métricas de análisis de redes sociales para ilustrar cómo se construyen portavoces o puntos de pasaje obligado y mediadores en las redes.

ción de roles interrelacionados con actores que los aceptan; y por último, la movilización de aliados.

La segunda noción, la red sociotécnica, se refiere a aquella red que se forma mediante los procesos de traducción, compuesta por elementos humanos y no humanos que se conectan mutuamente durante un cierto período (Callon, 1998). Dicha red es inicialmente un actor mundo, una visualización por parte de algunos actores de las relaciones que deben constituir para cumplir sus propósitos, y se transforma en un actor red cuando los vínculos se hacen efectivos.

Este trabajo muestra inicialmente una breve descripción del contexto de desarrollo de las nanotecnologías en Colombia, para luego presentar los casos. En el análisis se integran varias dimensiones de la gestión de conocimiento: procesos (Hull, 1999), trabajo interdisciplinario (Vinck, 2007), agentes mediadores de conocimiento<sup>5</sup> (Herrera, Jaime y Vinck, 2006) y objetos intermediadores (Callon, 1991; Vinck, 1999). Finalmente, se hace una discusión de los resultados y se exponen algunas conclusiones.

### **EL CONTEXTO DE DESARROLLO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN COLOMBIA**

Si bien las nanotecnologías han sido definidas en Colombia como estratégicas para el desarrollo nacional (DNP, 2006), los esfuerzos concretos en el área son aún incipientes. A diferencia de otros países de América Latina (Delgado, 2008), Colombia no cuenta con una política de fomento de las nanotecnologías y la intervención gubernamental en ese campo se limita al programa de centros de excelencia que inició en el año 2004. Dichos centros son definidos por Colciencias<sup>6</sup> como:

[...]una red nacional de grupos de investigación del más alto nivel, articulada alrededor de un programa común de trabajo en un área científica y tecnológica considerada como estratégica para el país. Cada uno de los grupos que formen parte de un centro de excelencia deben, además de estar reconocidos o en proceso de reconocimiento 2004 [por parte de Colciencias], desarrollar investigación de frontera en permanente contacto con entidades pares internacionales, apoyar la formación de recursos humanos en los niveles de maestría y doctorado, transferir el conocimiento generado al sector productivo, presentar los resultados de

<sup>5</sup> MAK por sus siglas en inglés (Mediating Agents of Knowledge).

<sup>6</sup> El Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias, es en Colombia la entidad encargada de promover el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Para más información, véase <http://www.colciencias.gov.co/portalcol/>.

su trabajo en publicaciones internacionales indexadas y estar comprometidos en los procesos de protección de la propiedad intelectual y el patentamiento (Colciencias, 2004, p. 1).

En el período 2004-2008, se han creado siete centros de excelencia, cada uno de los cuales cuenta con una financiación de hasta 1,7 millones de dólares, distribuidos en los cinco años estipulados para el apoyo. Dos de esos centros se asocian a las nanotecnologías: el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM), creado a través de la convocatoria del año 2004, que trabaja el área de nanomateriales, y el Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados en Complejidad (CEIBA), creado a través de la convocatoria del año 2006, que cuenta con una línea en nanociencia.

De otra parte, se lanzó en agosto de 2008 una convocatoria para la presentación de propuestas para la creación de un nuevo centro de excelencia en el área de electrónica, telecomunicaciones e informática (ETI), con temas como “microsistemas y sistemas microelectromecánicos (MEMS), diseño de componentes virtuales, caracterización de nanoestructuras, manufactura de dispositivos nanoscales, técnicas de fabricación en nanotecnología, nanoelectrónica” (Ministerio de Comunicaciones y Colciencias, 2008: 5). Los términos de esta convocatoria plantean dos fases. Una de tres años, con un apoyo máximo de aproximadamente 1,3 millones de dólares.<sup>7</sup> Otra de dos años, cuyo monto a financiar dependería de la evaluación de la primera fase.

Según la actual Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación, el instrumento de centros de excelencia se está reorientando hacia “el apoyo a redes y programas de investigación de mediano plazo en temas específicos” (Colciencias, 2008: 36). Un interrogante alrededor de los centros ya creados es si las redes continuarán articuladas una vez finalicen los apoyos gubernamentales (Salazar, 2008).

Paralelamente a los centros de excelencia, se identifica en el país un interés por el tema de las nanotecnologías. En el Nanoforum Colombia 2007, organizado por la Fundación Latinoamericana para la Promoción de la Ciencia (FUNLACI) y que tuvo lugar en Bogotá en octubre de ese año, se presentaron trabajos en temáticas como nanomateriales, bionano, nanomedicina, prospectiva y gestión tecnológica en nanotecnología, bioética, educación en nanotecnología e instrumentación. Si bien gran parte de los trabajos tenían un carácter divulgativo, muestran el interés de diversas instituciones en el tema.

En cuanto a publicaciones científicas en el área, según información recuperada

<sup>7</sup> El documento de la convocatoria indica un financiamiento de 3 mil millones de pesos colombianos. Aquí se presenta un valor aproximado en dólares para una mejor ilustración.

da de la base de datos ISI Web of Knowledge, la mayor cantidad de artículos se encuentra concentrada en el período 2006-2008, y en las áreas de física, materia condensada y materiales. Aproximadamente el 70% de esas publicaciones tienen autores de entidades internacionales. Las instituciones nacionales que registran mayor producción son la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad del Valle y la Universidad de Antioquia, entidades que a su vez cuentan con grupos beneficiados por el programa de centros de excelencia.

### **LOS CASOS ESTUDIADOS**

Este trabajo estudia tres casos: el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM), el Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar (NanoCiTec) y el proyecto Nanopuente Aurículo-Ventricular (A-V).<sup>8</sup>

El CENM funciona desde el año 2005 bajo la figura de unión temporal y es una red de 19 grupos de investigación, pertenecientes a 10 universidades colombianas (véase cuadro 1).

El CENM usa las instalaciones a disposición de esos grupos en cada una de las universidades, y no constituye como tal un nuevo espacio físico centralizado independiente de las instituciones. Cuenta con el apoyo internacional de diferentes institutos de investigación en materiales: The Nanotechnology Center (Northwestern University, Illinois), Thin Film and Nanoscience Group Department of Civil and Environmental Engineering, (Universidad de California, San Diego), Department Civil and Environmental Engineering (University of Michigan) y el Centro Internacional para la Investigación Interdisciplinaria en Materiales (CIMAT-Chile). El trabajo del CENM está organizado alrededor de cuatro temas de investigación interdisciplinaria (TII): Materiales y recubrimientos, Materiales nanocompuestos, Nanomagnetismo y dispositivos de estado sólido, Sensores, y Sistemas mesoscópicos (CENM, 2004).

El Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar (NanoCiTec), ubicado en Bogotá, fue creado en el año 2006 como una asociación sin fines de lucro, compuesta por profesionales de áreas como física, medicina, biología, así como de las ingenierías electrónica, biomédica y química. Su presentación oficial dice que responde a los intereses de diferentes disciplinas de trabajar en los campos de la nanociencia y nanotecnología, y se ha constituido en una iniciativa autogestionada por sus actores. Cuenta con una junta directiva. Además, existen dos figuras de participantes: los socios investigadores (personas vinculadas a los

<sup>8</sup> Cabe aclarar que aunque dos de los casos tienen dentro de su nombre la palabra “centro”, en cada uno de ellos tiene una connotación diferente, tal como se verá en su descripción.

**Cuadro 1. Grupos e instituciones que participan en el CENM**

Universidad	Ciudad	Grupos que participan en el CENM
Universidad del Valle	Cali	Películas Delgadas (GPD)
		Física Teórica del Estado Sólido (FTES)
		Materiales Compuestos (GMC)
		Metalurgia Física y Teoría de Transiciones de Fase (GMFTTF)
		Síntesis y Mecanismos de Reacción en Química Orgánica (SMRQO)
		Transiciones de Fase en Sistemas No-Metálicos (GTFNM)
Universidad Autónoma de Occidente	Cali	Ciencia e Ingeniería de Materiales (GCIM)
Universidad de Antioquia	Medellín	Corrosión y Protección (GCP)
		Estado Sólido (GES)
		Física Atómica y Molecular
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Física Computacional en Materia Condensada (FICOMACO)
		Óptica y Tratamiento de Señales (GOTS)
		Materiales Fotónicos (GMF)
Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá	Bogotá	Física de Nuevos Materiales (GFNM)
Universidad del Quindío	Armenia	Optoelectrónica (GOE)
Universidad del Tolima	Ibagué	Ciencia de Materiales (GCM)
Universidad del Cauca	Popayán	Física de Bajas Temperaturas "Edgar Holguín" (FBTEH)
Universidad del Norte	Barranquilla	Materiales, Procesos y Diseño (GMPD)
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Plasma, Láser y Aplicaciones (GPLA)

Fuente: Elaborado a partir de informaciones reportadas en el sitio oficial del CENM.

proyectos) y los socios honorarios (empresas que contribuyen con recursos para el desarrollo de los proyectos, pero que no participan directamente en las investigaciones). El programa principal de trabajo de NanoCiTec es Cáncer y Nanotecnología.

El proyecto Nanopuente Aurículo-Ventricular (A-V) tiene como objetivo “el diseño y construcción, a escala nanométrica, de un dispositivo electrónico intracavitorio para hacer puente en la interrupción eléctrica A-V (Aurículo-Ventricular) del área afectada” (Grupo scvs, 2007). Este nanomarcapasos<sup>9</sup> se diferencia de un marcapasos tradicional en que “no será necesario cambiarlo para reponer las pilas. El dispositivo usará la química y la electricidad del paciente para recargarse automáticamente” (Posada-Swafford, 2007: 149). El proyecto está siendo desarrollado por el grupo Seguimiento Corazón Vía Satélite - scvs, cuyo líder, el ingeniero electrónico Jorge Reynolds, creó en 1958 el primer marcapasos en Colombia. La iniciativa se empezó a concebir en 1999 y se puso en marcha en el año 2004, teniendo como precursores a Jorge Reynolds y al médico cardiólogo Jorge León (Grupo scvs, 2007).

### **LOS PROCESOS DE TRADUCCIÓN: DE ACTORES MUNDO A ACTORES REDES**

Los casos estudiados corresponden a iniciativas fomentadas durante los últimos cuatro años. Pero sus actores no partieron de cero, sino que potencializaron sus conocimientos y experiencias anteriores hacia las nanotecnologías. Esto se da mediante procesos de traducción.

#### **EL CENM**

La construcción de la red del CENM muestra un proceso de sucesivas traducciones para articular los grupos de investigación y otras entidades relacionadas. Esas traducciones posibilitan que un actor mundo se transforme poco a poco en un actor red.

La problematización parte de la definición de centro de excelencia dada por Colciencias y el acuerdo de temas de trabajo común. La interdefinición de los actores está asociada al establecimiento de los cuatro temas (TII), de manera que todos los grupos encontraran oportunidades de trabajo y de realizar aportes en por lo menos uno de ellos. Se va generando una cocreación de una

<sup>9</sup> Se usarán indistintamente las expresiones nanopuente y nanomarcapasos para referirse al mismo dispositivo.

identidad, en la medida en que los actores se asocian con la visión de centro de excelencia.

A través de los borradores de la propuesta presentada a Colciencias, el CENM se configura como un punto de pasaje obligado para sus integrantes. Ese documento (y sus varias versiones) es un objeto intermediador (Vinck, 1999, 2006) que en su construcción es central a las negociaciones entre actores. La propuesta, además, actúa como dispositivo de interesamiento de sus integrantes y de Colciencias. En ella se redefinen los intereses de los integrantes (en cuanto a temas, cooperación científica, acceso a algunos recursos instrumentales y a una fuente de financiación). Ese documento consolida la ubicación de los actores en un contexto de trabajo y permite la realización del proceso de traducción con la entidad de financiamiento y la movilización de acciones. El enrolamiento de actores se materializa cuando cada grupo confirma los temas en los cuales trabajará. El documento se vuelve un marco institucional y organizacional que implica a los integrantes. Otros actores dentro de este actor red lo constituyen las fuentes de financiación: Colciencias aporta el 31,06% del presupuesto y el 68,93% las diez universidades que forman parte de la Unión Temporal del CENM.<sup>10</sup>

El CENM, desde su propuesta de creación, visualiza el tema de lo local y lo global. Además de toda la información de las TII y de la trayectoria de los grupos, contiene cartas de respaldo de las instituciones internacionales. Ese soporte internacional fue de entrada un requisito establecido por Colciencias en su definición de centro de excelencia. El CENM delinea un actor mundo en el cual la visibilidad internacional realimenta los desarrollos. El resumen ejecutivo de la propuesta de creación concluye así:

El apoyo brindado al CENM por Colciencias proveerá la oportunidad para capacitar a jóvenes científicos e ingenieros, asegurando su participación en conferencias científicas internacionales, así como hacer posible el desarrollo de seminarios conjuntos brindados por los miembros del proyecto. Los resultados del Centro serán ampliamente diseminados para así promover la transferencia del conocimiento y estimular el uso de los resultados de la investigación. Obteniéndose adicionalmente una amplia colaboración y visibilidad internacional (CENM, 2004: 9).

El CENM, desde su concepción, se hace la pregunta por la aplicación y transferencia de los conocimientos desarrollados y moviliza aliados en ese sentido:

<sup>10</sup> Información recuperada el 10 de abril de 2008 de <<http://calima.univalle.edu.co/cenm/financiacion.htm>>.

El centro recibirá el apoyo del Instituto Tecnológico ASTIN-SENA quien tiene, a través de sus fuertes lazos con la industria regional del Valle del Cauca, resultados importantes de investigación en la tecnología de recubrimientos con un modelo exitoso de transferencia de resultados de I+D (CENM, 2004: 6).

En esos procesos de traducción a través de los cuales se conforma el actor red CENM, hay un primer momento de mediación del investigador propuesto como director del Centro, el Ph.D. Pedro Prieto, docente de la Universidad del Valle, quien cuenta con gran reconocimiento nacional e internacional en el campo de la física. Ese actor actúa como portavoz de los grupos asociados.

### **EL NANOCITEC**

El profesor Edgar González, gestor y director de NanoCiTec,<sup>11</sup> fue presidente del Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología de la IEEE (IEEE-CNNN). En ese Consejo, se desarrollaban básicamente labores de difusión que fueron relevantes para empezar a socializar las temáticas de ciencia y tecnología nanoscales. Ejemplo de ello es el ciclo de conferencias “Nanotecnología, presente y futuro”, que se llevó a cabo en Bogotá los días 25 y 26 de agosto de 2005 (IEEE, 2005). En su organización, participaron además del IEEE-CNNN las empresas Bayer y Galante R&A Ltda., así como las universidades Santo Tomás, San Buenaventura, Pontificia Universidad Javeriana, Militar Nueva Granada y Distrital. El invitado especial fue M. Meyyappan, director del Center for Nanotechnology at NASA Ames Research Center y en ese momento presidente electo del Institute of Electrical and Electronics Engineers – Nanotechnology Council (IEEE-NTC).<sup>12</sup> NanoCiTec continúa la colaboración con algunos de esos actores.

El director de NanoCiTec formó parte de procesos de traducción para generar una red de nanotecnología, pero no se completó el enrolamiento de las instituciones por las dificultades de cada una para llegar a un acuerdo. Los mecanismos de traducción que dan vida a NanoCiTec se inician con la problematización alrededor de temas de investigación comunes y básicamente del programa de Cáncer y Nanotecnología, así como la apuesta de desarrollar proyectos con *sentido social* en salud.

<sup>11</sup> El profesor Edgar González se desempeña como docente e investigador del Departamento de Física de la Pontificia Universidad Javeriana y de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás.

<sup>12</sup> Si bien el IEEE-CNNN en Colombia no se encuentra actualmente activo, sus actividades le proporcionaron visibilidad externa a los esfuerzos nacionales en nanociencia y nanotecnología, y es aún citado en ámbitos internacionales como una entidad promotora en ese país para las áreas científicas y tecnológicas mencionadas.

Parte de la problematización radica también en la necesidad de desarrollar las investigaciones a través de una estructura flexible, lejos de pesados trámites institucionales. Los participantes de NanoCiTec son en su mayoría profesionales con experiencia en investigación y con algún tipo de vinculación a universidades. El actor red de NanoCiTec logra consolidarse y se mantienen por el interés en los proyectos: los participantes no reciben remuneración por su trabajo, es una actividad voluntaria. Tal como lo describen algunos de sus miembros: “lo hacen por gusto”.

### **EL NANOPUENTE A-V**

En el enrolamiento de actores para este proyecto, influye el reconocimiento con el que cuenta el ingeniero Reynolds a nivel nacional e internacional. Un artículo de la revista *Muy Interesante* publicado en octubre de 2007, y escrito por Angela Posada-Swafford, inicia así:

Érase una vez un hombre a un corazón pegado... Así podría denominarse a Jorge Reynolds [...], que desde que inventó el primer marcapasos artificial de implantación externa en 1958 no ha parado de estudiar el corazón en todos los seres vivos. Ahora trabaja en el prototipo de un avanzado nanomarcapasos, una especie de minicremallera a la que no habrá que cambiarle las pilas... (Posada-Swafford, 2007: 148).

El proyecto ha sido presentado en varios escenarios de otros países como Japón, Canadá e Italia con buena aceptación. *Nòva 24*, un medio de comunicación italiano, a propósito de una visita del ingeniero Reynolds a ese país para presentar el proyecto, publica el 25 de mayo de 2006 un artículo titulado “Nanocardiologia l’idea di Jorge Reynolds, pioniere del pace-maker: Dagli abissi i segreti del cuore”, en el cual resalta el carácter innovador de la iniciativa, y reconstruye la historia de desarrollos de ese investigador (Gulmanelli, 2006).

Lo local y global se articulan desde el principio en el actor-red del Nanopuente. Los gestores realizan un proceso de traducción con varias entidades y logran enrolar a las siguientes organizaciones patrocinadoras del proyecto (Grupo scvs, 2007): Academia Nacional de Medicina, Hightech Electrónica de Venezuela, Corporación Intel, Heart Research, Corporación Newbridge y Universidad de la Sabana. Como entidades de apoyo, se unen a la iniciativa: Proteus Nanotechnologies, Parquesoft, Fundación Yo creo en Colombia, Fundación Santillana, Avantel de Colombia, Fundación Zeri y Sociedad Colombiana de Cardiología.

Con la vinculación de las entidades mencionadas, el actor red del proyecto se va consolidando. El diseño del nanopuente se va configurando como un objeto intermediador central (Vinck, 2006), que delinea los módulos, etapas de trabajo y disciplinas requeridas para su desarrollo.

## LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTO

### LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTO EN EL CENM

En los procesos de contextualización y recontextualización del conocimiento (Hull, 2006), el CENM empieza a coconstruir (Kreimer y Zabala, 2007) sus problemas de investigación con otros actores. En su último informe presentado y dirigido al comité de evaluación (CENM, 2007a), se evidencian relaciones con participantes que no estaban enrolados inicialmente. El CENM en acción ha generado colaboraciones con empresas de inyección de plástico, papel,<sup>13</sup> manufactura y comercialización de materias primas químicas, empaques, resortes y plásticos. También desarrolla asociaciones con el Ministerio de Agricultura de Colombia para llevar a cabo, durante el año 2007, un taller sobre nanotecnología y agricultura.

Además de lo anterior, en el ámbito internacional el CENM ha gestado otras conexiones. Dentro del Acuerdo de Cooperación Científica y Tecnológica que se está consolidando entre la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Argentina y Colciencias, el CENM está gestionando relaciones con el Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INNN) de la Argentina, propósito por el cual realizó una visita a ese país en septiembre de 2007 y conceptuó favorablemente a Colciencias sobre la pertinencia de fortalecer esas colaboraciones.<sup>14</sup>

Otro elemento de la coconstrucción de los problemas científicos a ser abordados por el actor red CENM es la incorporación de actividades con expertos en prospectiva y vigilancia tecnológica<sup>15</sup> (Reyes y Pedraza, 2007), con el propósito de facilitar

[...] el encuentro entre la oferta científica y tecnológica con las necesidades actuales y futuras de los mercados y de la sociedad. Al mismo tiempo, los ejercicios movilizan a los diferentes actores sociales para generar visiones compartidas de

<sup>13</sup> Esa empresa está organizada en siete plantas distribuidas entre Cali (Colombia), Lima (Perú), Quito (Ecuador) y Valencia (Venezuela).

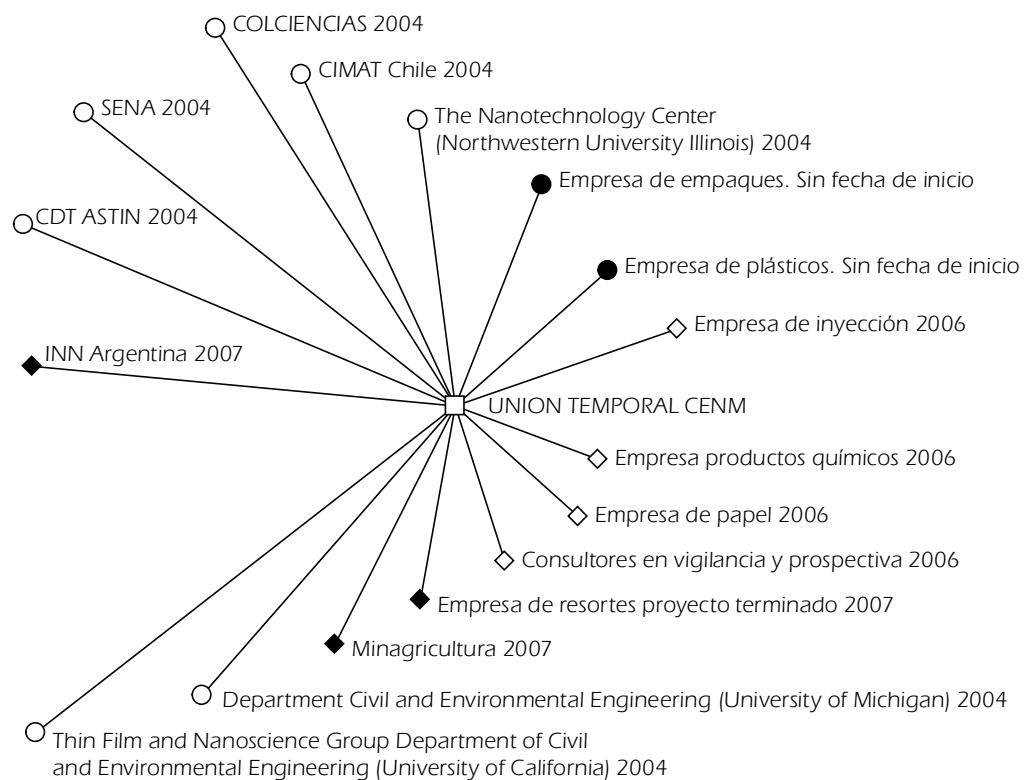
<sup>14</sup> La carta del director del CENM dirigida a Colciencias, en la cual le reporta a esa entidad los resultados de la visita al INNN de Argentina, se encuentra disponible en <<http://calima.univalle.edu.co/cenm/CC-III-006-09-07.pdf>>.

<sup>15</sup> Una de las actividades en ese sentido es la realización del Taller de Prospectiva en Nanomateriales en octubre de 2007.

futuro, orientar políticas de largo plazo y tomar decisiones estratégicas en el presente, dadas las condiciones y las posibilidades locales, nacionales y globales.<sup>16</sup>

A continuación, se presenta la red egocéntrica<sup>17</sup> del CENM en la figura 1.

**Figura 1. Red egocéntrica del CENM**



El dibujo de los nodos se usa para denotar el momento de enrolamiento de los actores. Así, los círculos blancos son aquellos que estaban desde el año 2004, cuando se concibió el CENM. Los círculos negros son empresas que aún desarrollan proyectos con el CENM, pero cuya fecha de inicio de colaboraciones no está reportada en los informes oficiales de esa entidad. Los rombos blancos y negros corresponden a actores enrolados durante los años 2006 y 2007 respectivamente.

Fuente: Elaborado a partir de informaciones reportadas en el sitio oficial del CENM.

<sup>16</sup> Información recuperada el 10 de abril de 2008 de <<http://calima.univalle.edu.co/cenm/prospectiva.htm>>.

<sup>17</sup> Un diseño egocéntrico (Wasserman y Faust, 1999) de una red responde a las relaciones de un actor central con otros. En este caso, el actor foco es la Unión Temporal CENM, cuyo nodo representa a toda la red interna de las 10 instituciones y 19 grupos de investigación.

En los procesos de producción de conocimiento del CENM hay objetos intermedidores fijos<sup>18</sup> (Vinck, 1999), como los instrumentos de caracterización y estudio de propiedades de materiales. Si bien gran parte de la infraestructura de equipo utilizado por el CENM pertenece a las universidades participantes, se ha invertido en dispositivos robustos para uso común. La red de los equipos adquiridos (con recursos mixtos de Colciencias y las universidades) y su ubicación se presentan en la figura 2.

Dentro de la anterior red el nodo con el más alto grado<sup>19</sup> es Univalle, además de estar allí ubicada la dirección del CENM, que coordina el uso de los equipos. Tomando el caso del Sistema de Medidas de Propiedades Físicas (PPMS por sus siglas en inglés),<sup>20</sup> este dispositivo se convierte en un punto de pasaje obligado para los investigadores, ya que ofrece posibilidades de caracterización de materiales no disponibles en otros equipos. El folleto de presentación de los servicios que se ofrecen con el PPMS anuncia: "Este sistema es una herramienta que ahorra tiempo y hace eficiente la investigación científica. Damos la bienvenida a una nueva etapa en la investigación en nuevos materiales en Colombia".<sup>21</sup> Las tarifas para realizar medidas con ese dispositivo se encuentran diferenciadas según el tipo de solicitante: empresa, grupo no perteneciente al CENM y grupo perteneciente al CENM, siendo este último el que tiene acceso al costo más bajo por el servicio.

Otro punto de la producción y socialización del conocimiento en el CENM es la mediación que realiza el Estatuto de Propiedad Intelectual del CENM (CENM, 2007b), documento que establece las directrices para la protección de los desarrollos.

En cuanto a las formas de trabajo entre disciplinas, en el CENM participan profesionales de la física, química e ingeniería. Sus intercambios corresponden a un modelo de complementariedad (Vinck, 2007), bajo el cual cada área aporta al objetivo común sin atravesar las fronteras de su disciplina. Los artículos científicos, si bien son productos de los diferentes TII definidos por el CENM, hasta el momento en su mayoría son publicados en revistas nacionales e internacionales del campo de la física. Esta última disciplina tiene una alta presencia dentro de la red.

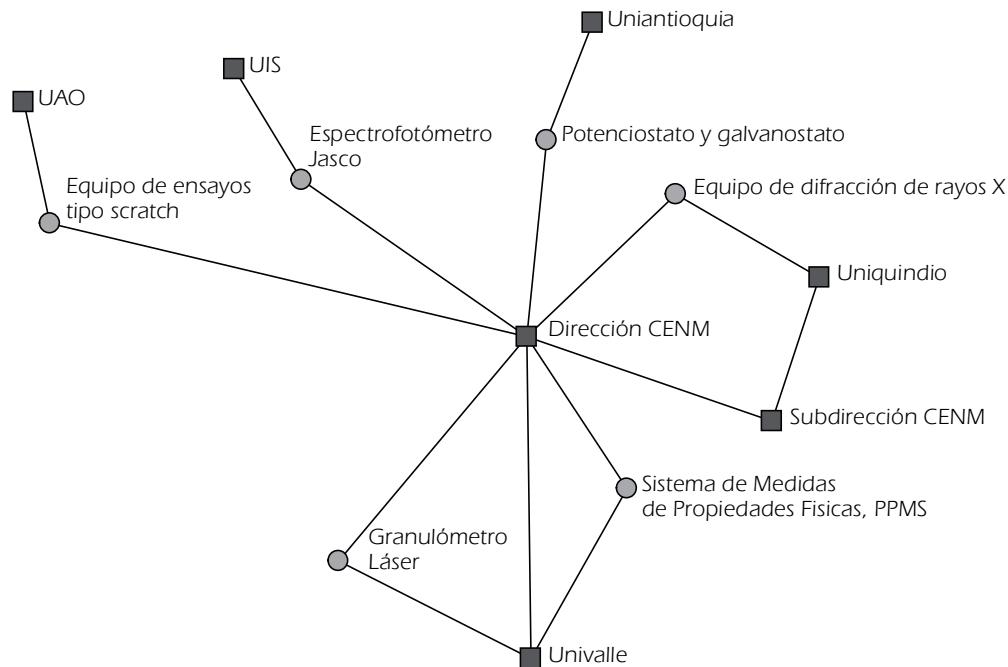
<sup>18</sup> Quiere decir, ubicados permanentemente en un sitio. Los investigadores o muestras de laboratorios deben movilizarse para tener acceso a ellos.

<sup>19</sup> El grado de un nodo es el número de relaciones que tiene con otros.

<sup>20</sup> Physical Property Measurement System.

<sup>21</sup> El folleto promocional del PPMS se encuentra disponible en <http://calima.univalle.edu.co/cenm/>. En la frase citada, se evidencia cómo para los investigadores el instrumental de laboratorio abre o cierra ciertas posibilidades de trabajo, especialmente cuando algunos de los dispositivos son de alto costo y en su adquisición se requiere con frecuencia unir esfuerzos de varias entidades.

**Figura 2. Red de los equipos robustos adquiridos por el CENM y entidad donde se han ubicado**



Fuente: Elaborado a partir de informaciones reportadas en el sitio oficial del CENM.

#### LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTO EN NANOCITEC

Desde su creación, NanoCiTec ha dado gran relevancia a los procesos de contextualización y recontextualización de conocimientos sobre nanociencia y nanotecnología. Ha fortalecido redes de vinculación y transferencia (Orozco y Chavarro, 2006),<sup>22</sup> a través del desarrollo de charlas y espacios de divulgación para público general. Dentro de esos eventos se encuentra el ciclo de conferencias “Nanotecnología, investigación y desarrollo y Nanotecnología y su impacto en el área de la salud”, realizado los días 18 y 19 de septiembre de 2007, con la participación de expositores nacionales e internacionales. La cuota nacional fue aportada por Rafael Hurtado y Rafael Molina, de la Universidad Nacional de Colombia, Jorge Reynolds, investigador del grupo Seguimiento de Corazón Vía Satélite – scvs y Dianney Clavijo, de NanoCiTec y la Universidad Nacional de

<sup>22</sup> Esos autores llaman redes de vinculación y transferencia a aquellas que aportan a la formación de percepción pública.

Colombia. El invitado internacional fue Jordi Pascual, director del Institut Catalá de Nanotecnología (ICN) de España. Dentro de las entidades auspiciadoras del evento se encuentran: Pontificia Universidad Javeriana, Roche, Fundación Cardio Infantil, el ICN y NanoCiTec.<sup>23</sup>

Por otra parte, en lo referente al desarrollo del programa de investigación principal de NanoCiTec, Cáncer y Nanotecnología, este se materializa mediante proyectos. La coordinación de los integrantes se realiza en mayor proporción vía medios electrónicos de comunicación y con encuentros personales cuando es necesario. El Centro no cuenta con instalaciones físicas propias: para tener acceso a equipos e instrumental de producción y caracterización de materiales, utiliza las modalidades de préstamo o alquiler, principalmente con universidades. Por otra parte, dada la vinculación de su director con la Pontificia Universidad Javeriana, esta institución ha proporcionado un espacio para algunas de las actividades.

Los instrumentos de laboratorio son, también en este caso, objetos intermediadores de acuerdos. Es así en el convenio firmado durante el año 2006 con la Universidad del Bosque para la realización de un proyecto conjunto dirigido a la realización de pruebas de citotoxicidad en vivo con tres tipos de nanotubos de carbono. A través de ese convenio, NanoCiTec tuvo acceso al bioterio ubicado en las instalaciones de esa universidad. Ese trabajo ya fue terminado y sus resultados están próximos a publicarse. Los estudios mostraron una alta ausencia de citotoxicidad para las partículas analizadas, pero, tal como lo comenta el director de NanoCiTec, ese tipo de pruebas son muy sensibles a las condiciones ambientales y de operación, razón por la cual no hay resultados a nivel mundial que sean realmente concluyentes.

Otro de los proyectos terminados se realizó con la Universidad Santo Tomás. Con relación a ese trabajo, un comunicado de prensa con fecha del 10 de marzo de 2008 informa:

Un grupo de diez investigadores de la Universidad Santo Tomás de Bogotá, que realizan estudios de nanotecnología, construyeron este prototipo de robot que copia el movimiento de partículas dentro del organismo humano y la forma como estas se autoensamblan.

[...] Edgar González, director de la investigación, explicó que observar cómo se comportan estos robots es de gran importancia a la hora de desarrollar materiales

<sup>23</sup> NanoCiTec también está vinculado a las conferencias “Encuentro con el futuro: el mundo avanza y tu avanzas con él”, organizadas por la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC) y la Universidad Nacional, y dirigidas a estudiantes, profesores y público en general. En ese marco, el director de NanoCiTec dictó una charla denominada “Viaje al interior de la materia”, el 17 de mayo de 2008.

y métodos de tratamiento con nanopartículas capaces de reconocer un blanco en especial (por ejemplo, una célula cancerígena), transportar medicamentos y ayudar a hacer diagnósticos de enfermedades de forma puntual [...]

[...] El Arbot fue presentado en el 14th IEEE Latin American Robotic Symposium, en Monterrey (México) donde fue aplaudido, pero ahora los investigadores entraron en una segunda fase e intentan reducir cada vez más la escala en que se encuentra el robot.<sup>24</sup>

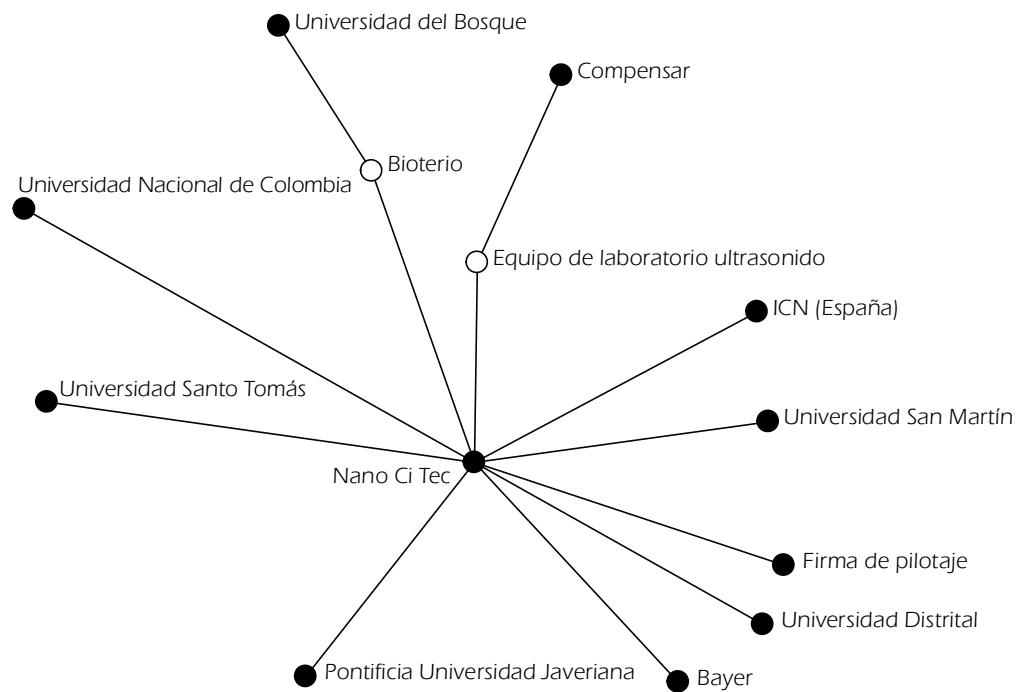
NanoCiTec también ha generado proyectos sobre citotoxicidad *in vitro* y síntesis de partículas, y ha obtenido nanotubos de carbono y nanopartículas magnéticas. En ese punto, se destaca el trabajo de síntesis de nanoestructuras de carbono realizado en colaboración con la Universidad Javeriana y presentado en el Nanotech 2008 (Boston), bajo el título “Synthesis and characterization of carbon nanofibers using oxy-acetylene flame”.

Lo local y lo global se articulan en el actor-red de NanoCiTec. Dentro de los proyectos que está iniciando, se encuentra uno en colaboración con el ICN de España, para el estudio de transporte de nanopartículas en el flujo sanguíneo. Las labores de síntesis de partículas continúan, pero también el Centro espera involucrarse con métodos de simulación. Adicionalmente, empieza a estudiar ciertos tipos de cáncer que son de mayor incidencia en Colombia. En cuanto a conexiones con el sector productivo, NanoCiTec ha continuado relaciones con Bayer y con una compañía de pilotaje, las cuales fueron iniciadas a través del IEEE-CNNN. Además, con la organización Compensar, el Centro gestionó la compra de un equipo de laboratorio, lo cual exigió acuerdos sobre el tipo de uso que se daría al dispositivo.

Dentro del actor red de NanoCiTec, el director del Centro actúa como agente mediador de conocimiento y portavoz principal ante distintas instancias. Por su parte, los investigadores asociados al Centro median en las relaciones con las universidades Nacional de Colombia, Javeriana, Santo Tomás, Distrital y San Martín. La red egocéntrica de NanoCiTec se presenta en la figura 3.

Ese nodo que está representando a NanoCiTec es al interior una red de profesionales y disciplinas que se articulan en los proyectos bajo un modelo de complementariedad. Sin embargo, en las prácticas cotidianas, han generado un lenguaje común que los acerca a una circulación de conceptos entre los distintos saberes. Tal como lo plantea el director del Centro, en la nanoescala los problemas a trabajar no le competen a una sola disciplina y es difícil adscribirlos a una

<sup>24</sup> Información recuperada el 20 de abril de 2008 de <<http://www.universia.net.co/docentes/destacado/profesores-de-la-universidad-santo-tomas-desarrollan-prototipo-de-robot.html>>.

**Figura 3. Red egocéntrica de NanoCiTec**

Los actores sociales se dibujan de color negro y los no sociales de blanco.

Fuente: Elaborado a partir de informaciones suministradas por el centro y revisión de página web.

única área del conocimiento. El grupo de investigadores se enfrenta a lo que llaman *un mundo nuevo e impredecible* y es por esto que deben hacerse permanentemente replanteamientos de su trabajo y estar abiertos al error y al cambio. No hay directrices rígidas sobre cómo desarrollar las investigaciones, hay un compromiso de los participantes con los propósitos fijados. Los grupos de cada proyecto se autoorganizan.

Los procesos de socialización de conocimiento al interior del Centro se realizan a través del envío de documentos por medios electrónicos y reuniones. Los resultados se validan antes de ser divulgados, y la difusión se maneja de manera cuidadosa para evitar la generación de falsas expectativas frente a un problema tan sensible como es el del cáncer. Además, el Centro se encuentra ligado de manera permanente a procesos educativos. Muestra de ello es el curso internacional sobre nanobiosensores realizado conjuntamente con la Universidad Javeriana y la Universidad Santo Tomás en agosto de 2008. Aparte de los espacios de divulgación ya mencionados, NanoCiTec comunica sus resultados a través de publicaciones científicas.

Otro medio de divulgación en el cual ha participado NanoCiTec es la coedición del libro *Nanotecnociencia: nociones preliminares sobre el universo nanoscópico*, junto con la Asociación Colombiana pro Enseñanza de la Ciencia (Buinaima), Proteus Nanotechnologies (Nanocolombia) y el IEEE-CNNN. La designación del título del libro fue una tarea asociada a la identidad de las actividades de los actores involucrados, haciendo uso del concepto nanotecnociencia para dar énfasis al hecho que la ciencia y tecnología “se han acercado cada vez más a una especie de fusión simbiótica, hasta el punto que hoy en día a menudo es imposible diferenciarlas” (Giraldo, 2007: 15).

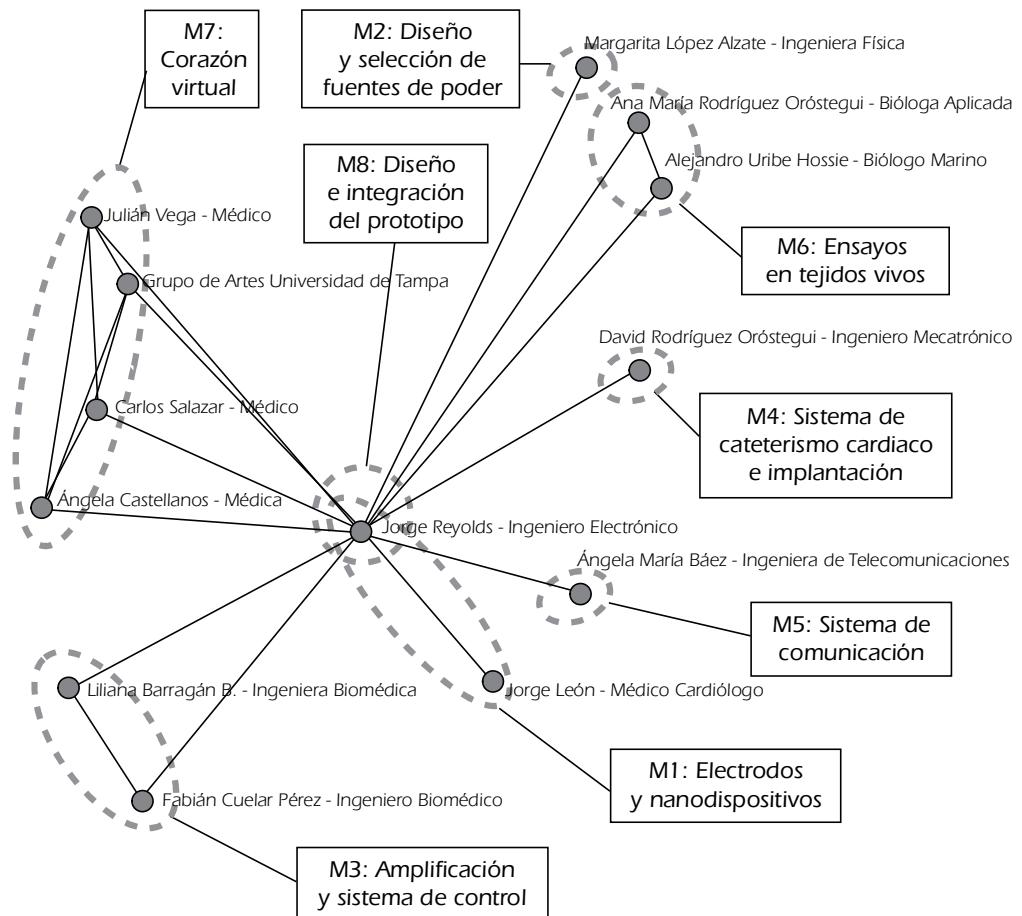
#### **GESTIÓN DE CONOCIMIENTO EN EL PROYECTO NANOPUENTE A-V**

Este proyecto fue concebido desde el principio como un esfuerzo de varias disciplinas. Se tienen ocho módulos, cada uno de los cuales cuenta con un equipo de trabajo. El grupo del proyecto tiene una sede en la ciudad de Bogotá, lugar donde se han realizado los avances hasta la fecha. Los desarrollos han evidenciado la necesidad de crear otro módulo con un *software* para simular las variables e interacción de las partes. Dos ingenieros de sistemas están empezando a trabajar en ello.

Cada módulo tiene unos objetivos a los cuales se les hace seguimiento y se hacen reuniones para presentar avances. El ingeniero Reynolds actúa como agente mediador de conocimiento. Las disciplinas se articulan bajo un modelo de complementariedad y con circulación de conceptos, para construir un lenguaje común (Vinck, 2007). El nanomarcapasos, como centro mediador de la red, facilita un espacio para la intercomunicación. Dentro del módulo “corazón virtual”, participan investigadores de la Universidad de Tampa. Es también un objeto intermediador para procesos educativos e investigativos. En la figura 4 se presenta la red de integrantes del proyecto, tal como estaba constituido el equipo humano en agosto de 2007 (Reynolds, 2007).

Se ha avanzado en el diseño, en el corazón virtual y en algunas partes del prototipo. En Italia se construyeron unos microcircuitos, pero aún no se está haciendo la miniaturización. Según el ingeniero Reynolds, más adelante es posible que algunos de los trabajos se realicen por fuera. El grupo proyecta, además, adquirir un dispositivo para empezar a hacer prototipos del circuito.

Según explica el investigador Reynolds en la entrevista concedida a la revista *Muy Interesante*, los desarrollos del nanopuente irán de la mano de los avances en nanolitografía: “Cuando esté más desarrollada la tecnología de la nanolitografía, en dos o tres años, los circuitos del nanopuente aurículo-ventricular artificial serán mil veces más pequeños que los de los actuales modelos” (Posada-Swafford, 2007, p. 150).

**Figura 4. Red del proyecto Nanopuente A-V**

Los diferentes módulos se denotan con la letra M y el número correspondiente.  
 Fuente: Elaborado a partir de Reynolds (2007).

Este proyecto está orientado a una aplicación concreta. Dentro de la red, los actores enrolados están asociados al desarrollo del nanomarcapasos; pero también existen contactos con empresas que podrían aportar en fases posteriores del proyecto, así como instituciones de regulación en salud, que se convierten en futuros puntos de pasaje obligado de la red. En cuanto a desafíos que enfrentan, el ingeniero Reynolds agrega que uno de ellos es elegir “el sistema más interesante para garantizar la estabilidad de los circuitos, los costes y la accesibilidad de los profesionales médicos a la tecnología. Ahora, el reto es dar con materiales que nos permitan construir electrodos con mayor conductividad eléctrica” (Posada-Swafford, 2007:152).

**DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

La consolidación de las redes en los casos estudiados responden a diferentes motivaciones, y eso influye también en las estructuras de trabajo adoptadas. En el caso del CENM, hay un impulso gubernamental mediante el programa de centros de excelencia que motiva las agrupaciones de actores. Las iniciativas del NanoCiTec y Nanopuente A-V surgen de mecanismos de autoorganización a partir de necesidades o problemas identificados. El estudio revela que en las redes de estos casos estudiados los procesos de visibilidad y apropiación local se coconstuyen. La visibilidad internacional permite lograr un prestigio que posibilita el acceso a recursos para continuar los desarrollos. Así mismo, los resultados locales son validados en ámbitos globales por medio de referenciación.

Si bien en las redes sociotécnicas de estos casos hay un gran peso de actores científicos, poco a poco se han ido enrolando actores del sector empresarial. En las prácticas de gestión de conocimiento, la contextualización y recontextualización llevan a generar relaciones con actores locales, que a su vez realimentan la investigación. En este punto, los resultados coinciden con los mostrados por Kreimer y Zabala (2007) en lo referente a la construcción recíproca de problemas sociales y científicos. El trabajo interdisciplinario toma formas de complementariedad y circulación, con intercambios locales e internacionales. Los agentes mediadores de conocimiento identificados están altamente conectados al mismo tiempo con la comunidad científica internacional y con grupos sociales locales. Su prestigio y liderazgo ha favorecido la articulación de las redes. En este punto los resultados aquí reportados permiten hacer una lectura diferente de las relaciones locales/globales de los países latinoamericanos en nanotecnología a la realizada por autores como Delgado (2008), principalmente porque la dicotomía centro/periferia no explica suficientemente la forma en que se organizan las redes. Las actividades en nanotecnología son multisituadas y en ese sentido se contextualizan permanentemente en ámbitos locales y globales.

Los objetos intermediadores fijos favorecen la movilización de investigadores y la generación de alianzas para su uso. En un área emergente como la nanotecnología, gran parte de los desarrollos no cuentan con aplicaciones concretas en el mercado, pero aún así no responden estrictamente al tipo CANA, ya que las redes incorporan desde sus inicios actores del mundo empresarial y se caracterizan por estrategias de difusión de conocimiento a público no científico como forma de interesamiento de nuevos actores. Los hallazgos dirigen a repensar el concepto de CANA, ya que los casos indican una coconstrucción de lo local con lo global y una generación y uso del conocimiento no estrictamente separadas, ni unidas de manera lineal. En el caso del CENM, los problemas de investigación están surgiendo de necesidades concretas de la industria o de ejercicios de vigi-

lancia y prospectiva que toman requerimientos del mercado y los combinan con las capacidades tecnológicas. NanoCiTec y el proyecto Nanopuente A-V surgen para tratar problemas específicos del área de la salud, aprovechando las potencialidades de la nanotecnología. Es así como estas iniciativas no muestran un proceso lineal de investigación alejado del mercado. Desde el inicio, las redes están incorporando actores del lado de la demanda. Es más, esa demanda es una coconstrucción en la que participan los gestores de la nanotecnología mediante las redes de vinculación y transferencia. Por ello se propone la noción de cogestión de conocimiento, como un proceso de conformación de arreglos sociotécnicos (Callon, 2007), en el cual no hay una relación lineal productor-usuario, ya que estos roles son intercambiables en el tiempo, y están mediados por sucesivas traducciones. Los aprendizajes atraviesan las instituciones y disciplinas y se estructuran diferentes esquemas de trabajo entre áreas, con una negociación de roles y tiempos de desarrollo.

## REFERENCIAS

- Bernard, H. R. (2006), *Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches*, 4<sup>a</sup> ed., Oxford, Altamira Press.
- Borgatti, S. P., M. G. Everett y L. C. Freeman (2002), *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*, Harvard, Analytic Technologies.
- Callon, M. (1986a), “La recherche industrielle: le mal français”, *La Recherche Économie Supplément*, vol. 17, Nº 183, pp. 4-9.
- Callon, M. (1986b), “The sociology of an actor-network: The case of the electric vehicle”, en Callon, M., J. Law y A. Rip (eds.), *Mapping the dynamics of science and technology*. Basingstoke, Macmillan, pp. 19-34.
- (1991), “Technico-Economic Networks and Irreversibility”, en Law, J. (ed.), *A Sociology of Monsters. Essays on Power, Technology and Domination*, Londres, Routledge & Kegan.
- (1995), “Algunos elementos para una sociología de la traducción. La domesticación de las vieiras y los pescadores de la bahía de St. Brieuc”, en Iranzo, J. M. et al. (eds.), *Sociología de la ciencia y la tecnología*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp. 259-282.
- (1998), “El proceso de construcción de la sociedad. El estudio de la tecnología como herramienta para el análisis sociológico”, en Doménech, M. y F. Tirado (eds.), *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad*, Barcelona, Editorial Gedisa, pp. 143-170.
- (2007), “An Essay on the Growing Contribution of Economic Markets to the Proliferation of the Social”, *Theory, Culture & Society*, vol. 24, Nº 7-8, pp. 139-163.
- Centro de Excelencia en Nuevos Materiales-CENM (2004), “Creación de un Centro de Excelencia en Nuevos Materiales-CENM”.

- (2007a), “Presentación Comité de Evaluación CENM-2007”, recuperado el 12 julio de 2007 de <<http://calima.univalle.edu.co/cenm/Presentacion%20CENM%20Junio%205%20y%206-2007%20Definitivo.pdf>>.
- (2007b), “Estatuto de Propiedad Intelectual del Centro de Excelencia en Nuevos Materiales”.
- Colciencias (2004), “Convocatoria nacional para la creación de centros de investigación de excelencia de Colciencias-2004”, Bogotá, Colciencias.
- (2008), “Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación: Colombia Construye y Siembra Futuro”, Bogotá, Colciencias.
- Delgado, G. C. (2008), “Entre la competencia y la dependencia tecnológica: la nanotecnología en el continente americano”. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, vol. 17, Nº 1, pp. 1-25.
- Departamento Nacional de Planeación-DNP (2006), *Visión Colombia II Centenario: Fundamentar el crecimiento y el desarrollo social en la ciencia, la tecnología y la innovación. Propuesta para discusión*, Bogotá, Grupo OP Gráficas S.A.
- Flick, U. (2007), *Designing qualitative research*. Thousand Oaks, California, Sage Publications.
- Giraldo, J. (2007), “Presentación: El Nanomundo, otro universo del Dr. Einstein”, en Giraldo, J., E. González y F. Gómez-Baquero (eds.), *Nanotecnociencia: nociones preliminares sobre el universo nanoscópico*. Bogotá, Ediciones Buinaima.
- Glanzel, W. et al. (2003), *Nanotechnology: Analysis of an Emerging Domain of Scientific and Technological Endeavour*, Leuven, Steunpunt O&O Statistieken, Report.
- Grupo scvs (2007), “Nanopuente A-V”, recuperado el 20 de enero de 2008 de <<http://nandomarcapasos.net/nanopuenteAV.htm>>.
- Gulmanelli, S. (2006), “Nanocardiologia l’idea di Jorge Reynolds, pioniere del pace-maker: Dagli abissi i segreti del cuore”, *Nova 24*, recuperado el 5 de febrero de 2008 de <[http://didattica.polito.it/master/systemsdesign\\_0708/pdf/reynold.pdf](http://didattica.polito.it/master/systemsdesign_0708/pdf/reynold.pdf)>.
- Herrera, V., M. Jaime y D. Vinck (2006), “Mediator Agents of Knowledge in Glo/Cal Networks: What role play the research groups of Los Andes University in Bogotá?”, *53rd Annual North American Meetings of the Regional Science Association International*, Toronto, Canadá, 15-18 de noviembre.
- Huang, C., A. Notten y N. Rasters (2008), *Nanotechnology Publications and Patents: A Review of Social Science Studies and Search Strategies*, Working paper series Nº 058, UNU-MERIT, Maastricht.
- Hull, R. (1999), “Actor network and conduct: The discipline and practices of knowledge management”, *Organization*, vol. 6, Nº 3, pp. 405-428.
- IEEE (2005), “International Conference on Nanotechnology: Present and Future”, recuperado el 10 de abril de 2008 de <<http://www.nd.edu/~ntcnews/2005/downloads/IntrntlConfBogata05.pdf>>.
- Invernizzi, N. y G. Foladori (2006), “¿Beneficiarán las nanotecnologías a los países en desarrollo? Enfoques y controversias”, Memorias VI ESOCITE, Bogotá, 9 a 21 de abril de 2006, recuperado el 3 de mayo de 2007 de <[http://www.ocyt.org.co/esocite/Ponencias\\_ESOCITEPDF/4BRS010.pdf](http://www.ocyt.org.co/esocite/Ponencias_ESOCITEPDF/4BRS010.pdf)>.

- Kreimer, P. (2006), “¿Dependientes o integrados? La ciencia latinoamericana y la nueva división internacional del trabajo”. *Revista Nómadas*, vol. 24, pp. 199-212.
- y J. P. Zabala (2007), “Scientific Problems Chagas Disease in Argentina: Reciprocal Construction of Social and Scientific Problems”, *Science Technology Society*, vol. 12, Nº 1, pp. 49-72.
- Marcus, G. (1995), “Ethnografy in/of the World System: The Emergence of Multi-sited Ethnografy”, *Annual Review of Anthropology*, vol. 24, pp. 95-117.
- Ministerio de Comunicaciones y Colciencias (2008), “Convocatoria nacional para conformar el banco de proyectos para el establecimiento de un centro de investigación de excelencia en electrónica, telecomunicaciones e informática (ETI)”.
- Mogoutov, A. y B. Kahane (2007), “Data search strategy for science and technology emergence: A scalable and evolutionary query for nanotechnology tracking”, *Research Policy*, vol. 36, pp. 893-903.
- Noyons, E. et al. (2003), “Mapping excellence in science and technology across Europe Nanoscience and nanotechnology”. Draft report of project EC-PPN CT-2002-2001 to the European Commission. Recuperado el 2 de mayo de 2008 de <[studies.cwts.nl/projects/ec-coe/downloads/Final\\_report\\_13112003\\_nano.pdf](http://studies.cwts.nl/projects/ec-coe/downloads/Final_report_13112003_nano.pdf)>.
- Orozco, L. A. y D. A. Chavarro (2006), “De historia y sociología de la ciencia a indicadores y redes sociales: Análisis de la biotecnología para el estudio de comunidades científicas en el marco de los programas nacionales de ciencia y tecnología”, en Villaveces, J. L. y J. Charum (eds.), *Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCYT)*, Bogotá, Javegraf.
- Porter, A. et al. (2008), “Refining search terms for nanotechnology”. *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 10, Nº 5, pp. 715-728.
- Posada-Swafford, A. (2007), “La cápsula de la vida: Jorge Reynolds crea el marcapasos de 1 milímetro”, *Muy Interesante*, vol. 317, pp. 148-154.
- Reyes, A. y G. Pedraza, (2007), “Nanomateriales: ¿Quo Vadis?”, Memorias Nanoforum Colombia 2007, Bogotá, 26 y 27 de octubre 2007.
- Reynolds, J. (2007), “Nanopuente A-V Artificial. Memorias Tercer Encuentro de Investigación Innovación e Ingeniería en Telecomunicaciones: las TIC aplicadas al Sector Salud”, Bogotá, CINTEL, 28 y 29 de agosto de 2007.
- Salazar, M. (2008), “Canada & Colombia: Two approaches to the role of regions and networks in research and innovation policy”, en Memorias de *Conferencia Prime-Latin America*, México.
- Vinck, D. (1999), “Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique: Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales”, *Revue Française de Sociologie*, vol. 40, Nº 2, pp. 385-414.
- (2003), “Epilogue: Approaches to the Ethnography of Technologies”, en Vinck, D. (ed.), *Everyday Engineering: An Ethnography of Design and Innovation*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, pp. 203-226.
- (2006), “Dynamique d’innovation et de conception et rôle des objets intermédiaires. Les Supports de la Connaissance: Tecnologías, Mediatisación, Apprentissage”, recuper-

- do el 26 de febrero de 2008 de <<http://gdrtics.u-paris10.fr/pdf/ecolets/sept2006/VINCK.pdf>>.
- (2007), *Sciences et société: Sociologie du travail scientifique*, París, Armand Colin. [Una edición más completa para América Latina será publicada por Colciencias (Bogotá) en 2009.]
- Wasserman, S. y K. Faust (1999), *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.

Artículo recibido el 1º de diciembre de 2008.  
Aceptado para su publicación el 1º de febrero de 2009.