

Redes sociotécnicas de co-gestión de conocimiento en nanotecnología en Colombia: ¿entre la visibilidad internacional y la apropiación local?

Dominique Vinck
dominique.vinck@upmf-grenoble.fr
Universidad Pierre Mendès-France (UPMF)- Laboratorio PACTE
Le Patio, BP 47 38040 Grenoble cedex 9 (France), Grenoble - Francia

Constanza B. Pérez
cperez@uniandes.edu.co
Universidad Central – Universidad de los Andes-Universidad Pierre Mendès-France (UPMF)
Cra 5 N° 21 – 38, Bogotá - Colombia

Resumen

¿Cómo se organizan las redes de gestión de conocimiento para desarrollos en nanotecnología 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 (CANANA) 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 CANANA, ya que los casos indican una co-construcción 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 co-gestión de conocimiento, en la que el rol de usuario y generador de conocimiento es intercambiable en el tiempo, y los aprendizajes atraviesan las instituciones y disciplinas.

Palabras claves: Nanotecnología, CANANA, gestión de conocimiento, redes sociotécnicas

1. 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 (CANA)¹, 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 & Foladori, 2006): La nanotecnología². 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 como terreno empírico tres casos colombianos de gestión de conocimiento: Uno en el campo de nanomateriales y dos en el de nanotecnologías con aplicaciones a la salud.

La selección de los casos se hace combinando el método *snowball* (Wasserman & Faust, 1999) con el criterio de facilidad de acceso al terreno empírico. Con este fin se realiza un sondeo inicial con investigadores asociados a la nanotecnología, quienes identificaron algunos actores relevantes en el tema. Los casos escogidos fueron algunos de los mencionados con frecuencia por las personas consultadas, de los cuales se contara además con acceso a información de fuentes primarias y/o secundarias. Un criterio adicional de escogencia de los casos fue que ellos posibilitaran la comparación de iniciativas con impulso gubernamental, con otras autoorganizadas.

Los casos son abordados desde los enfoques de redes sociotécnicas³ y sociología de la traducción (Callon, 1995, 1998; Vinck, 1999), con una aproximación etnográfica que busca

1 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 mas bien técnicos, no interesa verdaderamente a la industria*” (Callon, 1986a, p. 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.

2 La Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004, p. 5) define la nanotecnología como “*el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas, controlando tamaño y forma a escalas nanométricas [10⁻⁹ metros]*”. El mercado de los productos que incorporan nanotecnologías ha presentado un incremento durante los últimos años. Durante el año 2006 representó un valor de 50.000 millones de dólares (Delgado, 2007) y se espera que para el 2015 ascienda a 2.78 trillones de dólares (GIA, 2008).

3 Compuesta por elementos humanos y no humanos que se conectan mutuamente durante un cierto periodo de tiempo (Callon, 1998).

seguir los desarrollos de diversos actores heterogéneos (Marcus, 1995; Vinck, 2003). Se realizaron entrevistas semiestructuradas, revisión de información de fuentes secundarias, así como la asistencia a comunicaciones públicas orales de los actores. Se usó el software UCINET (Borgatti, Everett & Freeman, 2002) para manejo cuantitativo⁴ y gráfico de los datos.

En este documento se presenta inicialmente el estudio de cada uno de los casos, integrando varias dimensiones de la gestión de conocimiento: procesos (Hull, 1999), trabajo interdisciplinario (Vinck, 2007), agentes mediadores de conocimiento⁵ (Herrera, Jaime & Vinck, 2006) y objetos intermediadores (Callon, 1991; Vinck, 1999). Posteriormente se presenta una discusión de resultados y algunas conclusiones.

2. El CENM⁶

El Centro de Excelencia de Nuevos Materiales (CENM) fue una iniciativa que surgió dentro de la “Convocatoria Nacional para la Creación de Centros de Investigación de Excelencia de Colciencias⁷-2004”. El CENM funciona desde el año 2005 bajo la figura de unión temporal y está integrado por 19 grupos de investigación reconocidos⁸, pertenecientes a 10 Universidades colombianas⁹. Además 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*,

4 El énfasis de éste 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.

5 MAK por sus siglas en inglés (Mediator Agents of Knowledge).

6 El análisis aquí realizado toma como base la información publicada en la página oficial del centro (<http://calima.univalle.edu.co/cenm/index.html>) y en otras fuentes secundarias de datos.

7 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 ver: <http://www.colciencias.gov.co/portacol/>

8 En Colombia el reconocimiento y categorización de grupos de investigación es realizado por Colciencias.

9 Estas instituciones se encuentran distribuidas en diferentes ciudades del país. Son: Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), Universidad Nacional de Colombia, Universidad Industrial de Santander (UIS), Universidad del Valle (Univalle), Universidad del Tolima, Universidad del Quindío (Uniquindio), Universidad del Cauca, Universidad de Antioquia (Uniantioquia), Universidad Autónoma de Occidente (UAO) y Fundación Universidad del Norte (Uninorte).

(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).

2.1. De un actor mundo a un actor red

La construcción de la red del CENM muestra un proceso de sucesivas traducciones¹⁰ (Callon, 1995) para articular los grupos de investigación y otras entidades relacionadas. Esas traducciones posibilitan que un actor mundo¹¹ (Callon, 1986b) se transforme poco a poco en un actor-red.

En la problematización se acuerdan temas de trabajo común. La interdefinición de los actores está asociada al establecimiento de los cuatros TII, de manera que todos los grupos encontraran espacios de trabajo y oportunidades para aportar en por lo menos uno de ellos. Se va generando una co-creación de una identidad.

El CENM se configura como un punto de pasaje obligado para sus integrantes. La propuesta para la creación del centro presentada a Colciencias actúa como dispositivo de interesamiento. 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 define los temas en los cuales trabajará. Esa propuesta es un objeto intermediador (Vinck, 1999, 2006) que en su construcción es central a las negociaciones entre actores. Un intermediador más lo constituyen

10 Proceso mediante “*el cual se negocia la identidad de los actores, sus posibilidades de interacción y sus márgenes de maniobra*” (Callon, 1995, p. 263). La traducción abarca varios momentos que se traslapan: Problematización, (interdefinición de actores y construcción de puntos de pasaje obligado dentro de la red), interesamiento y enrolamiento (definición de roles interrelacionados a actores que los aceptan), así como movilización de aliados.

11 Un actor mundo es una red visualizada por algunos actores para cumplir sus propósitos. Delinea ciertas relaciones que deberán consolidarse para concretar la red.

las fuentes de financiación: Colciencias aporta el 31.06% del presupuesto y el 68.93% las 10 universidades que hacen parte la Unión Temporal del CENM.¹²

El CENM desde su propuesta de creación visualiza el tema de lo local y lo global. Además de toda la información de las TIII y de la trayectoria de los grupos, contiene cartas de respaldo de las instituciones internacionales. Delinea un actor-mundo en el cual la visibilidad internacional realimenta los desarrollos. El resumen ejecutivo de ese documento concluye así:

El apoyo brindado al **CENM** por **COLCIENCIAS** proveerá la oportunidad para capacitar 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, p. 9).

Ese soporte internacional fue de entrada un requisito establecido por Colciencias en su definición de Centro de Excelencia:

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 hagan parte de un Centro de Excelencia deben, además de estar reconocidos o en proceso de reconocimiento 2004, 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 su trabajo en publicaciones internacionales indexadas y estar comprometidos en los procesos de protección de la propiedad intelectual y el patentamiento (Colciencias, 2004).

¹² Información recuperada el 10 de abril de 2008 de: <http://calima.univalle.edu.co/cenm/financiacion.htm>

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

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, p. 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.

2.2.La gestión de conocimiento en el actor-red CENM

En los procesos de contextualización y recontextualización del conocimiento (Hull, 2006) el CENM empieza a co-construir (Kreimer & 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, papel¹³, manufactura y comercialización de materias primas químicas, empaques, resortes y plásticos. También desarrolla colaboraciones con el Ministerio de Agricultura de Colombia para llevar a cabo durante el 2007 un taller sobre nanotecnología y agricultura.

Además de lo anterior, a nivel internacional el CENM ha gestado otras relaciones. Dentro del Acuerdo de Cooperación Científica y Tecnológica que se está consolidando entre la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina y Colciencias, el CENM está gestionando relaciones con el Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INNN) de Argentina, propósito por el cual realizó una visita a ese país en septiembre de 2007 y

13 Esa empresa está organizada en 7 plantas distribuidas entre Cali (Colombia), Lima (Perú), Quito (Ecuador) y Valencia (Venezuela).

conceptuó favorablemente a Colciencias sobre la pertinencia de fortalecer esas colaboraciones¹⁴.

Otro elemento de la co-construcción de los problemas científicos a ser abordados por el actor-red CENM es la incorporación de actividades con expertos en prospectiva y vigilancia tecnológica¹⁵ (Reyes & 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 futuro, orientar políticas de largo plazo y tomar decisiones estratégicas en el presente, dadas las condiciones y las posibilidades locales, nacionales y globales¹⁶.

El actor-red del CENM se muestra como una red egocéntrica¹⁷ en la figura 1¹⁸.

14 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>

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

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

17 Un diseño egocéntrico (Wasserman & 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.

18 Los colores de los nodos se usan para denotar el momento de enrolamiento de los actores. Así, los puntos de la red en color azul son aquellos que estaban desde el 2004 cuando se concibió el CENM. Los actores en color rojo 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 nodos verdes y amarillos corresponden a actores enrolados durante los años 2006 y 2007 respectivamente.

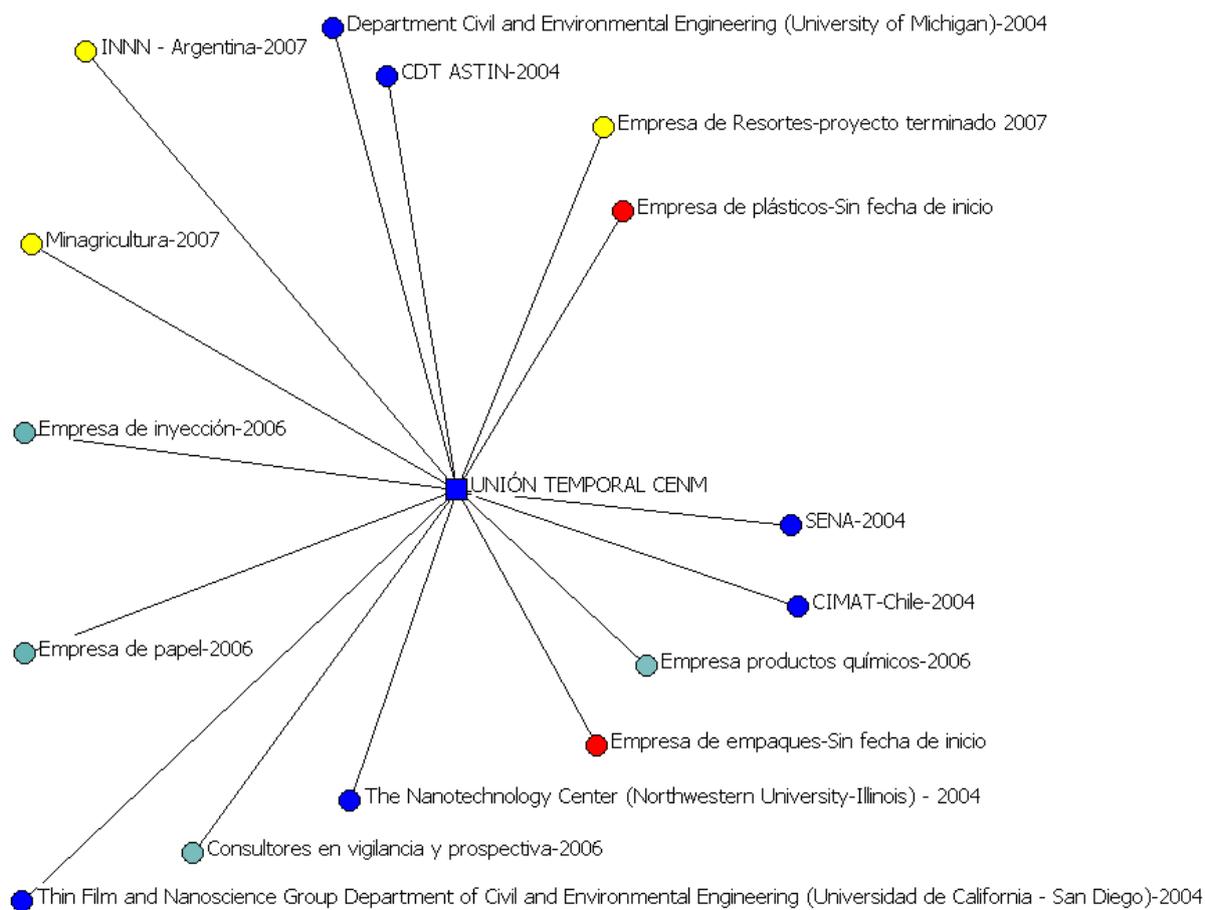


Figura 1. Actor-red del CENM. Fuente: Elaborado a partir de informaciones reportadas en el sitio oficial del CENM

En los procesos de producción de conocimiento del CENM hay objetos intermediadores fijos¹⁹ (Vinck, 1999) como los equipos para caracterizar y estudiar los materiales. Si bien gran parte del instrumental utilizado por el centro corresponde a infraestructura de equipo de las universidades participantes, se ha invertido en dispositivos robustos para uso común. La red de los equipos robustos adquiridos (con recursos mixtos de Colciencias y las Universidades) y su ubicación se presentan en la figura 2.

¹⁹ Ubicados permanentemente en un sitio. Los investigadores o muestras de laboratorios deben movilizarse para tener acceso a ellos.

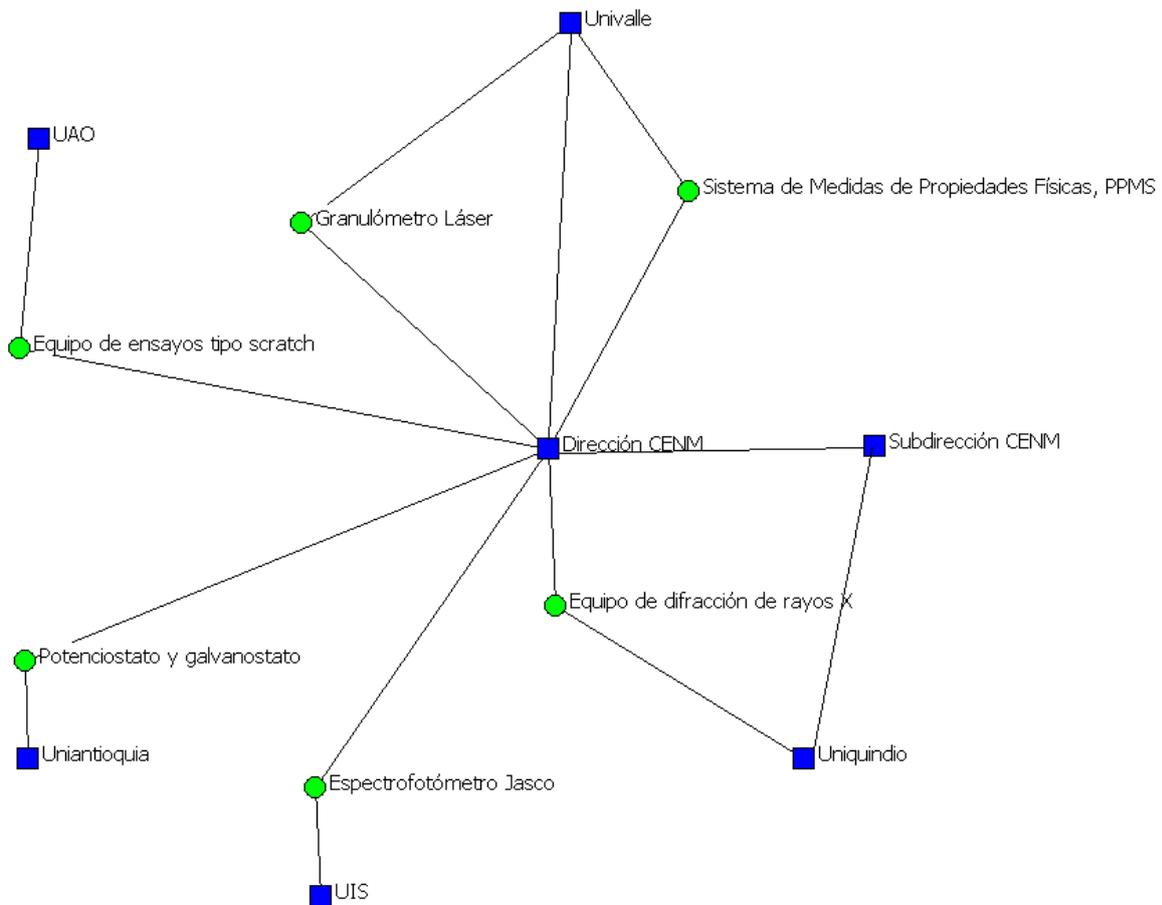


Figura 2. Red de los equipos robustos adquiridos por el CENM y entidad donde se han ubicado. Fuente: Elaborado a partir de informaciones reportadas en el sitio oficial del CENM

Dentro de la anterior red el nodo con el más alto grado²⁰ 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 inglés²¹), éste 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*

²⁰ El grado de un nodo es el número de relaciones que tiene con otros.

²¹ Physical Property Measurement System.

*bienvenida a una nueva etapa en la investigación en nuevos materiales en Colombia*²². 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 éste 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, son publicados hasta el momento en su mayoría en revistas nacionales e internacionales del campo de la física. Éste última disciplina tiene una alta presencia dentro de la red.

3. NANOCITEC²³

El Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar (nanoCiTec), ubicado en Bogotá, fue creado en el año 2006 como una asociación sin ánimo de lucro, compuesta por profesionales de áreas como física, medicina, biología, así como de las ingenierías electrónica, biomédica y química. 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 compuesta por un director, un subdirector, un secretario general, un tesorero y un suplente. Además existen dos figuras de participantes: los socios investigadores

22 El folleto promocional del PPMS se encuentra disponible en <http://calima.univalle.edu.co/cenm/>. Se evidencia en la frase citada cómo para los investigadores los equipos de laboratorio abren o cierran 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.

23 La documentación de este caso se realizó a través de entrevistas semiestructuradas con el profesor Edgar González, Director de NanoCiTec, e información de fuentes secundarias, básicamente de la página web del centro. También se asistió a comunicaciones públicas orales de investigadores de ese centro.

(personas vinculadas a los proyectos) y los socios honorarios (empresas que contribuyen con recursos para el desarrollo de los proyectos, pero que no participan directamente en las investigaciones). Su programa principal de trabajo es “Cáncer y Nanotecnología”.

3.1. NanoCiTec: De un actor-mundo a un actor-red

El profesor Edgar González, gestor y director de nanoCiTec²⁴, 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 nanoescalares. 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)*²⁵. NanoCiTec continúa la colaboración con algunos de esos actores.

El Director de nanoCiTec hizo parte de procesos de traducción para generar una red de nanotecnología, pero no se completó el enrolamiento de actores por las dificultades de las diferentes instituciones para llegar a acuerdos (González, 2007). 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.

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

24 El profesor 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.

25 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 entidad promotora de ese país para las áreas científicas y tecnológicas mencionadas.

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*”.

3.2. La gestión de conocimiento en el actor-red 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 & Chavarro, 2006)²⁶, 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 Colombia. El invitado internacional fue Jordi Pascual, Director del Institut Català de Nanotecnologia (ICN) de España. Dentro de las entidades auspiciadoras del evento se encuentran: Pontificia Universidad Javeriana, Roche, Fundación Cardio Infantil, el ICN y nanoCiTec²⁷.

Por otra parte, en lo referente al desarrollo del programa de investigación principal de nanoCiTec, “Cáncer y Nanotecnología”, éste 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. Si bien el centro no cuenta con un espacio fijo de trabajo, dentro de instituciones como la Pontificia Javeriana ha desarrollado algunas de las actividades (González, 2007; 2008). Para tener acceso a equipos e

26 Esos autores llaman redes de vinculación y transferencia a aquellas que aportan a la formación de percepción pública.

27 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 dictará una charla denominada “Viaje al interior de la materia” el día 17 de mayo de 2008.

instrumental de producción y caracterización de materiales de los cuales el centro no dispone, utiliza las modalidades de préstamo o alquiler, principalmente con universidades.

Los equipos de laboratorio son en este caso también objetos intermediadores de acuerdos. Es así en el convenio firmado durante el 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 la Universidad del Bosque. 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 a nivel mundial no hay resultados que sean realmente concluyentes (González, 2008).

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.

De forma programada, este tipo de robots podría atacar a un gran enemigo: el cáncer, entre otras enfermedades.

Edgar González, director de la investigación, explicó que observar cómo se comportan estos robots es de gran importancia a la hora de desarrollar materiales 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 mecanismo que se simula es el de partículas programadas mucho más pequeñas que las células, las cuales ingresan al organismo con anticuerpos pegados a ellas que se conectan o se ensamblan entre sí.

Entre todas, reconocen y ubican la célula cancerígena lo que permite que los médicos hagan radiaciones localizadas sin dañar las células sanas y sin generar los efectos colaterales como los que producen tratamientos como la quimio y la radioterapia. Ese mismo proceso es el que imita el Arbot que, cuando es puesto en el agua se une a otros robots similares a él hechos por los investigadores de la Santo Tomás.

"Es uno de los robots (de este tipo) más pequeños que existen y sirve muchísimo a nivel comparativo. Nos permite ver cómo una sola partícula puede hacer poco, pero al unirse a otras puede resolver tareas muy complejas como las de transporte de fármacos, entre otros", dice González que pone como ejemplo a las hormigas o a las amebas que colectivamente cumplen labores complejas.

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.²⁸.

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 que será 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

28 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>

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 central ante distintas instancias. Por su parte los investigadores asociados al centro median relaciones con las Universidades Nacional de Colombia, Javeriana, Santo Tomás, Distrital y San Martín. El actor-red de nanoCiTec se reconstruye en la figura 3, utilizando una red egocéntrica²⁹.

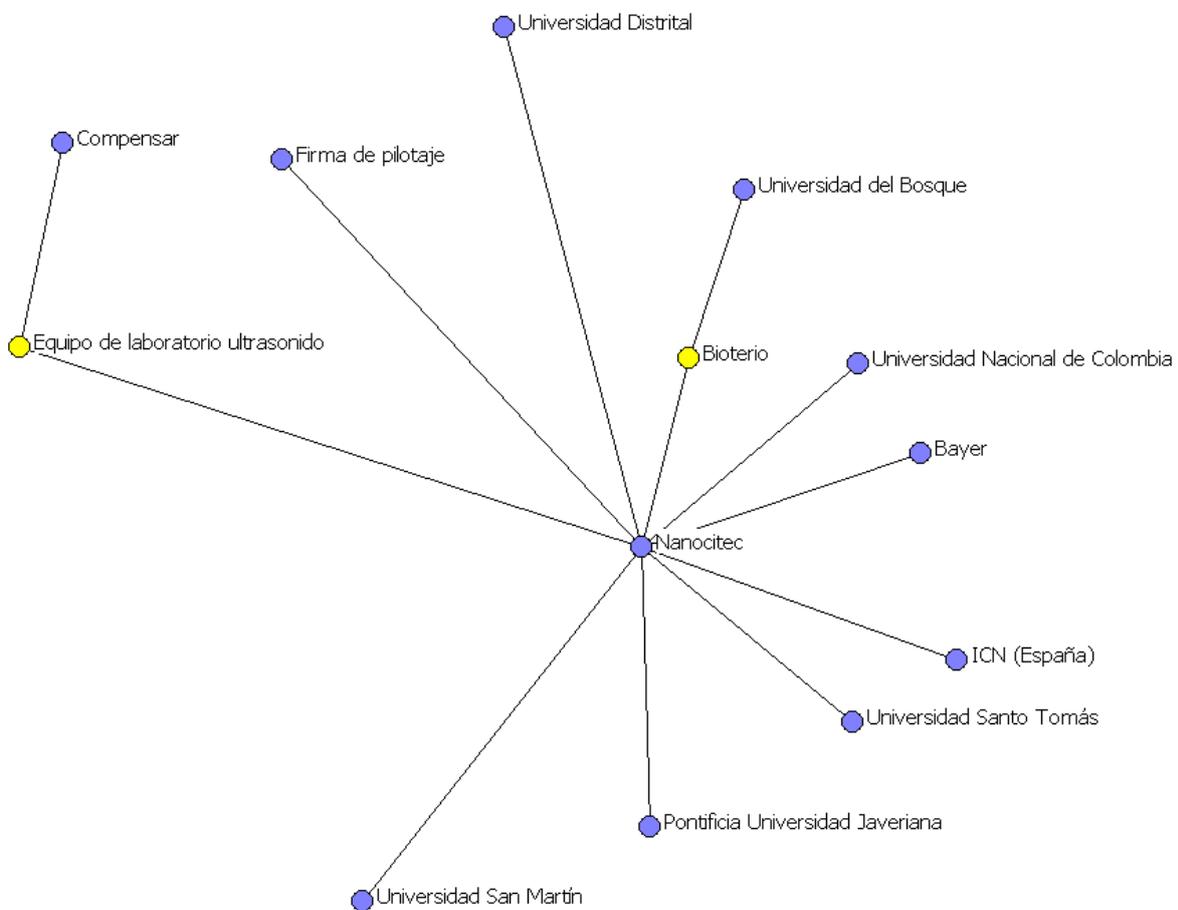


Figura 3. Actor-red de NanoCiTec. Fuente: Elaborado a partir de informaciones suministradas por el centro y revisión de página web

²⁹ En la figura 3 los actores sociales y no sociales se diferencia por el color del nodo.

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 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 propuestos. Los grupos de cada proyecto se auto-organizan.

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 que ofrecerá conjuntamente con la Universidad Javeriana y la Universidad Santo Tomás la primera semana de 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 en 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 mas a una especie de fusión simbiótica, hasta el punto que hoy en día a menudo es imposible diferenciarlas”* (Giraldo, 2007, p.15).

4. GRUPO SEGUIMIENTO CORAZÓN VIA SATÉLITE (SCVS)³⁰

El grupo “Seguimiento Corazón Vía Satélite - SCVS” está trabajando desde 1958, año en el cual su líder, el Doctor Jorge Reynolds, creó el primer marcapasos en Colombia. Ahora el grupo SCVS desarrolla un proyecto para desarrollar un nanomarcapasos, denominado “Nanopuente Aurículo-Ventricular (A-V)”. El objetivo de este proyecto es *“el diseño y construcción, a escala nanométrica, de un dispositivo electrónico intracavitario para hacer puente en la interrupción eléctrica A-V (Aurículo-Ventricular) del área afectada”* (Grupo SCVS, 2007). Este nanomarcapasos 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, p. 149).

4.1. El proyecto Nanopuente A-V: De un actor mundo a un actor-red

El proyecto Nanopuente A-V (nanomarcapasos) se empieza a concebir en 1999 e inicia en el año 2004. Los precursores de esa iniciativa son Jorge Reynolds, ingeniero electrónico, y Jorge León, médico cardiólogo (Grupo SCVS, 2007).

En el enrolamiento de actores influye el reconocimiento con el que cuenta el Doctor 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, p. 148).

³⁰ Para la documentación de este caso se realizó entrevista personal semiestructurada al Doctor Jorge Reynolds en febrero de 2008 y se asistió a diferentes conferencias del investigador durante el año 2007. La revisión de información de fuentes secundarias comprende: memorias de eventos, artículos, página web del grupo SCVS y comunicados en varios medios de prensa.

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 Doctor 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*”³¹, 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 como organizaciones patrocinadoras del proyecto a las siguientes (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 (ver figura 4)³².

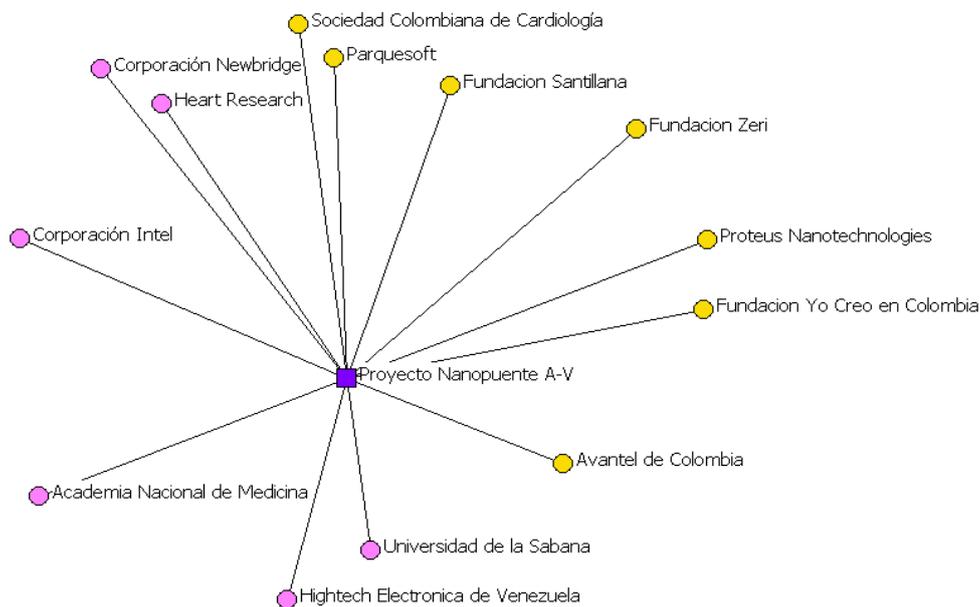


Figura 4. Red de entidades participantes y de apoyo del proyecto Nanopuente A-V. Fuente: Elaborado a partir de Grupo SCVS (2007)

31 Nanocardiología la idea de Jorge Reynolds, pionero del marcapasos: Desde los abismos los secretos del corazón.

32 Las entidades participantes y de apoyo se representan en la red con colores diferentes.

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 (Reynolds, 2008).

4.2. Gestión de conocimiento en el actor-red Nanopuente A-V

Este proyecto fue concebido desde el principio como un esfuerzo de varias disciplinas. Se tienen 8 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 (Reynolds, 2008).

Cada módulo tiene unos objetivos a los cuales se les hace seguimiento. 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, y es también un objeto intermediador para procesos educativos e investigativos. En la figura 5³³ se presenta el actor-red de integrantes del proyecto, tal como estaba constituido el equipo humano en agosto de 2007 (Reynolds, 2007).

33 Los diferentes módulos se denotan con la letra M y el número correspondiente.

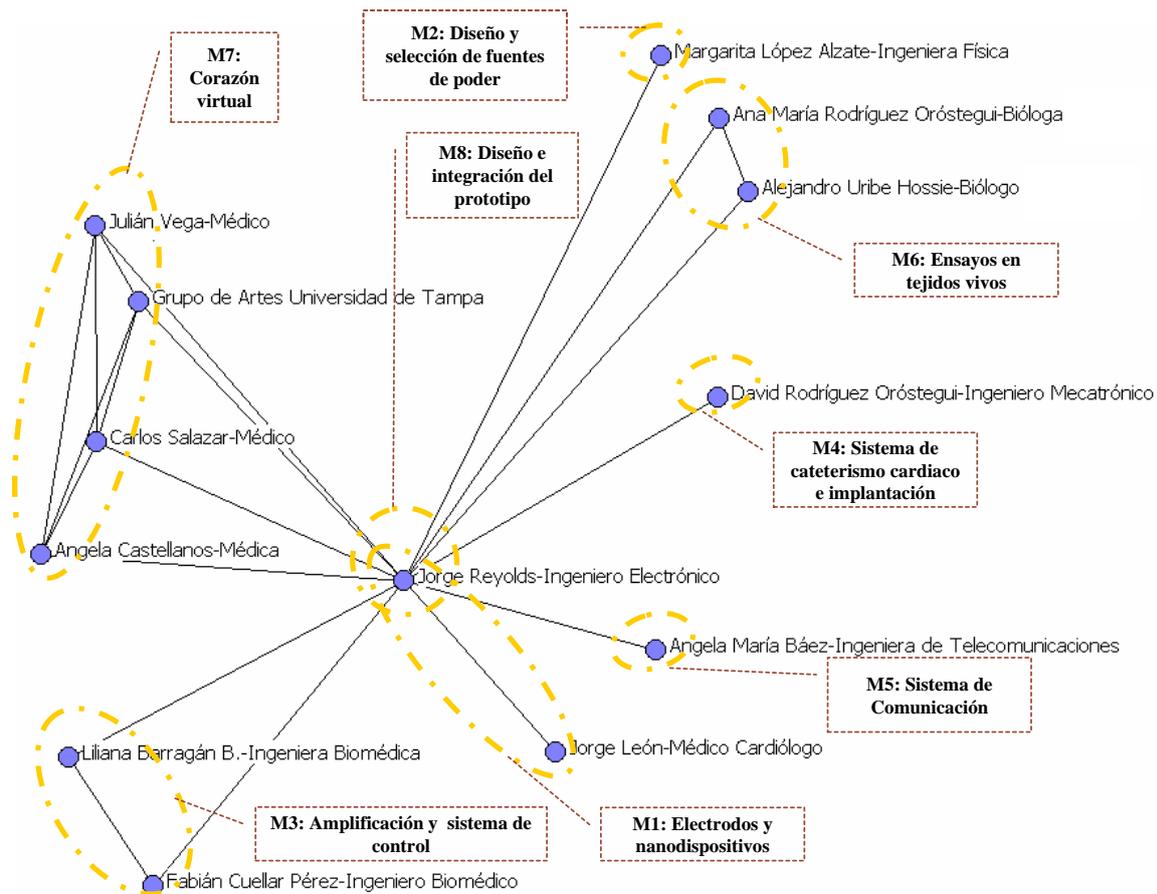


Figura 5. Actor-red del equipo del proyecto Nanopuerto A-V. Elaborado a partir de Reynolds (2007)

Se ha avanzado en el diseño, en el corazón virtual y algunas partes del prototipo. En Italia se construyeron unos microcircuitos, pero aún no se está haciendo la miniaturización. Según el ingeniero Reynolds, mas 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 (Reynolds, 2008).

Según explica el investigador Reynolds en la entrevista concedida a la revista Muy Interesante, los desarrollos del nanopuerto 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 nanopuerto aurículo-ventricular artificial serán mil veces más pequeños que los de los actuales modelos”* (Posada-Swafford, 2007, p. 150).

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 (Reynolds, 2008). 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, p. 152).

5. 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 la política 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 co-construyen, de manera similar a la co-evolución de estilos sociotécnicos mostrada por Aguiar, Fressoli y Thomas (2006) para una firma biotecnológica argentina. 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 (Callon, 1995) 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 con la comunidad científica internacional y con grupos sociales locales al mismo tiempo. Su prestigio y liderazgo ha favorecido la articulación de las redes. En este punto los resultados aquí reportados permiten hacer una lectura diferente a la realizada por autores como Delgado (2008) de las relaciones locales/globales de los países latinoamericanos en nanotecnología, principalmente porque la dicotomía centro/periferia no explica suficientemente la forma en que se organizan las redes. Las actividades en nanotecnología son multisituadas (Marcus, 1995), 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 co-construcción 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 vigilancia 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 co-construcción en la que participan los gestores de la nanotecnología mediante las redes de vinculación y transferencia. Por ello se propone la noción de co-gestión de conocimiento, como un proceso de conformación de arreglos socio-técnicos (Callon, 2007), en el cual no hay una relación lineal productor-usuario, ya que éstos 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.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias al auspicio de las instituciones Universidad Central, Universidad de los Andes y Universidad Pierre Mendès-France (UPMF).

Los autores expresan sus agradecimientos a los investigadores de nanoCiTec, del Grupo SCVS y de Buinaima, ya que sus contribuciones sobre sus experiencias y conocimientos en el campo de la nanotecnología hicieron posible el desarrollo de este trabajo. También agradecen al profesor Ph.D. Alfonso Reyes de la Universidad de los Andes, por sus valiosas orientaciones y aportes para el avance de esta investigación.

REFERENCIAS

Aguiar, D., Fressoli, M. & Thomas, H. (2006). Del laboratorio de investigación al laboratorio de producción. La construcción de una empresa de biotecnología recombinante en un país subdesarrollado. Memorias VI ESOCITE, Bogotá, 9 a 21 de abril de 2006. Recuperado en Septiembre 14 de 2007 de http://www.ocyt.org.co/esocite/Ponencias_ESOCITEPDF/ISA010.pdf

Borgatti, S.P., Everett, M.G. & Freeman, L.C (2002). Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis. Harvard, MA: Analytic Technologies.

Callon M. (1986a). La recherche industrielle: le mal français, *La Recherche Économie Supplément*, 17 (183), 4-9.

Callon, M. (1986b). The sociology of an actor-network: The case of the electric vehicle. En M. Callon, J. Law, and A. Rip (Eds.), pp. 19-34. *Mapping the dynamics of science and technology*. Basingstoke, U.K: Macmillan

Callon, M. (1991). Technico-Economic Networks and Irreversibility En J. Law (Ed.). *A Sociology of Monsters. Essays on Power, Technology and Domination*. London: Routledge & Kegan.

Callon, M. (1995) Algunos elementos para una sociología de la traducción. La domesticación de las vieiras y los pescadores de la bahía de St. Briec. En: J.M. Iranzo, J.R. Blanco, T.G.d.l. Fe, C. Torres & A. Cotillo (Eds.), pp. 259 – 282. *Sociología de la ciencia y la tecnología*, Madrid: Consejo superior de investigaciones científicas.

Callon, M. (1998) El proceso de construcción de la sociedad. El estudio de la tecnología como herramienta para el análisis sociológico. En M. Domenech & F. Tirado (Eds.), pp. 143-170. *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad*, Barcelona: Editorial Gedisa.

Callon, M. (2007). An Essay on the Growing Contribution of Economic Markets to the Proliferation of the Social. *Theory, Culture & Society*. 24 (7-8), 139-163.

Centro de Excelencia en Nuevos Materiales-CENM (2004). Creación de un Centro de Excelencia en Nuevos Materiales – CENM.

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>

Centro de Excelencia en Nuevos Materiales-CENM (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.

Delgado, G.C. (2007). El paradigma económico de la nanotecnología. *Comercio Exterior*, 57(7), Julio, 546 – 561.

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*. 17, (1), 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.* Grupo OP Gráficas S.A.

Giraldo, J. (2007). “Presentación: El Nanomundo, otro universo del Dr. Einstein”. En J. Giraldo. E. González y F. Gómez-Baquero (Eds.). *Nanotecnociencia: Nociones preliminares sobre el universo nanoscópico.* Ediciones Buinaima, Bogotá.

Global Industry Analysts – GIA (Marzo 12, 2008). Global Revenues from Products Incorporating Nanotechnology to Reach US\$2.8 Trillion by 2015, According to a New Report by Global Industry Analysts, In. Recuperado el 18 de Marzo de 2008 de http://www.nanotech-now.com/news.cgi?story_id=28469

González, E. (2007). Entrevista personal realizada el 27 de Julio de 2007.

González, E. (2008). Entrevista personal realizada el 7 de Abril de 2008.

Grupo SCVS (2007). Nanopuente A-V. Recuperado en Enero 20 de 2008 de <http://nanomarcapasos.net/nanopuenteAV.htm>

Gulmanelli, S. (Mayo 25, 2006). Nanocardiologia l’idea di Jorge Reynolds, pioniere del pacer-maker: Dagli abissi i segreti del cuore. *Nòva 24*. Recuperado en Febrero 5 de 2008 de: http://didattica.polito.it/master/systemsdesign_0708/pdf/reynold.pdf

Herrera, V., Jaime, M. & Vinck, D (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, Canada, November 15-18.

Hull, R. (1999). Actor Network and Conduct: The Discipline and Practices of Knowledge Management. *Organization*, 6(3), 405-428.

IEEE (2005). International Conference on Nanotechnology: Present and Future. Recuperado en abril 10 de 2008 de <http://www.nd.edu/~ntcnews/2005/downloads/IntrntlConfBogata05.pdf>

Invernizzi, Noela & Foladori, Guillermo (2006). *¿Beneficiarán las nanotecnologías a los países en desarrollo? Enfoques y controversias*. Memorias VI ESOCITE, Bogotá, 9 a 21 de abril de 2006. Recuperado en mayo 3 de 2007 de http://www.ocyte.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*, (24), 199-212.

Kreimer, P. & Zabala, J.P. (2007). Scientific Problems Chagas Disease in Argentina: Reciprocal Construction of Social and Scientific Problems. *Science Technology Society*, 12(1) 49-72.

Marcus, G (1995). Ethnography in/of the World System: The Emergence of Multi-sited Ethnography. *Annual Review of Anthropology*, (24), 95-117.

Orozco, L.A. & Chavarro, D.A. (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 (J.L Villaveces & J. Charum, Eds). Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT). Bogotá, Colombia: Javegraf.

Posada-Swafford, A. (2007). La cápsula de la vida: Jorge Reynolds crea el marcapasos de 1 milímetro. *Muy Interesante*. (317), Octubre 2007, 148-154.

Reyes, A. & Pedraza, G. (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. CINTEL, Bogotá 28 y 29 de agosto de 2007.

Reynolds, J. (2008). Entrevista personal realizada el 19 de Febrero de 2008.

The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004) Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties.

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*, 40(2), 385-414.

Vinck, D. (2003). Epilogue: Approaches to the Ethnography of Technologies. En D. Vinck (Ed.), pp. 203 – 226. *Everyday Engineering: An Ethnography of Design and Innovation*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Vinck, D. (2006). “Dynamique d’innovation et de conception et rôle des objets intermédiaires”. Les Supports de la Connaissance: Technologies, Médiatisation, Apprentissage. Recuperado en febrero 26 de 2008 de: <http://gdrtics.u-paris10.fr/pdf/ecoles/sept2006/VINCK.pdf>

Vinck, D. (2007). *Sciences et société: Sociologie du travail scientifique*. Paris, France: Armand Colin.

Wasserman, S. & Faust, K. (1999). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.