



Documento de Trabajo

7/2010
Noviembre

**Oportunidades y desafíos de la nanotecnología
para los países en desarrollo: la experiencia reciente
en América Latina**

Pablo José Lavarello
Maria de los Angeles Cappa

Este documento fue preparado por Pablo José Lavarello y Maria de los Angeles Cappa en el marco del Proyecto de Investigación CEUR-CONICET “Potencialidades de la biotecnología para el desarrollo industrial en Argentina”, el que recibió el apoyo de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, a través de un subsidio del FONCyT. El Proyecto fue coordinado por Graciela E. Gutman (Investigadora Responsable) y Pablo Lavarello (Investigador integrante del Grupo Responsable)

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Pablo Lavarello es investigador adjunto del CEUR-CONICET , plavarello@conicet.gov.ar

Maria de los Angeles Cappa coordina proyectos en la Dirección para la transferencia de tecnología en metrología, micro, nanotecnología y nuevos materiales de INTI, mariang@inti.gob.ar

INTRODUCCION

En este artículo se analizan las implicancias, para el diseño e implementación de políticas de CTI, de la difusión de nuevas tecnologías basadas en el conocimiento científico, en particular el caso de la nanotecnología.

La Nanotecnología se define como la producción de materiales funcionales, instrumentos y sistemas; por medio del conocimiento y control de la materia a dimensiones en de 1-100 nanómetros¹. En dicho rango se observan nuevas funcionalidades y propiedades de la materia que pueden utilizarse en un amplio espectro de aplicaciones.

La nanotecnología constituye un nuevo paradigma tecnológico tratándose de una tecnología genérica, con fuertes implicancias sobre el tipo de organización industrial y las formas de competencia, condicionando por lo tanto las posibilidades de permanencia en el mercado y de entrada de nuevas firmas en las nuevas actividades que surgen con el cambio tecnológico. Dada su emergencia reciente, existe poco consenso sobre la naturaleza del paradigma y sobre sus implicancias en la organización industrial. Al igual que la biotecnología, existe una fuerte interpenetración con la base científica. Sin embargo, su fuerte desarrollo fue impulsado por los avances en la instrumentación, particularmente los avances en la microscopía que permitieron "ver" estructuras del orden del nanómetro.

Los efectos sobre la organización industrial aún son prematuros y es difícil de establecer tendencias definitivas. Al encontrarse en su etapa inicial de difusión, los principales desarrollos se basan en nanomateriales con aplicaciones en la industria electrónica y química, las empresas incumbentes son las que cuentan con un mayor incentivo a invertir en nanotecnología. En estas industrias, el proceso de recomposición del oligopolio es más gradual que en el caso de la biotecnología, con la preeminencia de estrategias de diversificación y la acumulación de capacidades a partir de grandes firmas existentes.

Los países de la región, muestran un sensible rezago en materia de publicaciones y de patentes nanotecnológicas. Sus marcos institucionales han mostrado importantes cambios en los últimos 5 años, no obstante su implementación reciente y la débil articulación entre estas iniciativas y una estrategia del sector privado plantean diferencias sensibles con las experiencias de los países desarrollados. La experiencia Argentina a partir de la implementación de fondos sectoriales que impulsan la conformación de consorcios público-privados posibilitaría revertir estas falencias.

Estos elementos plantean como interrogante de política 1) cual es el alcance del nuevo paradigma tecnológico en contextos institucionales sensiblemente diferentes a los de los países

¹ El prefijo nano proviene del griego y significa 'enano', y en ciencia y tecnología quiere decir 10⁻⁹ (0,000000001). Para tener una escala comparativa con la vida cotidiana podemos decir que un nanómetro (nm) es una milmillonésima parte de un metro, es decir, decenas de miles de veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano.

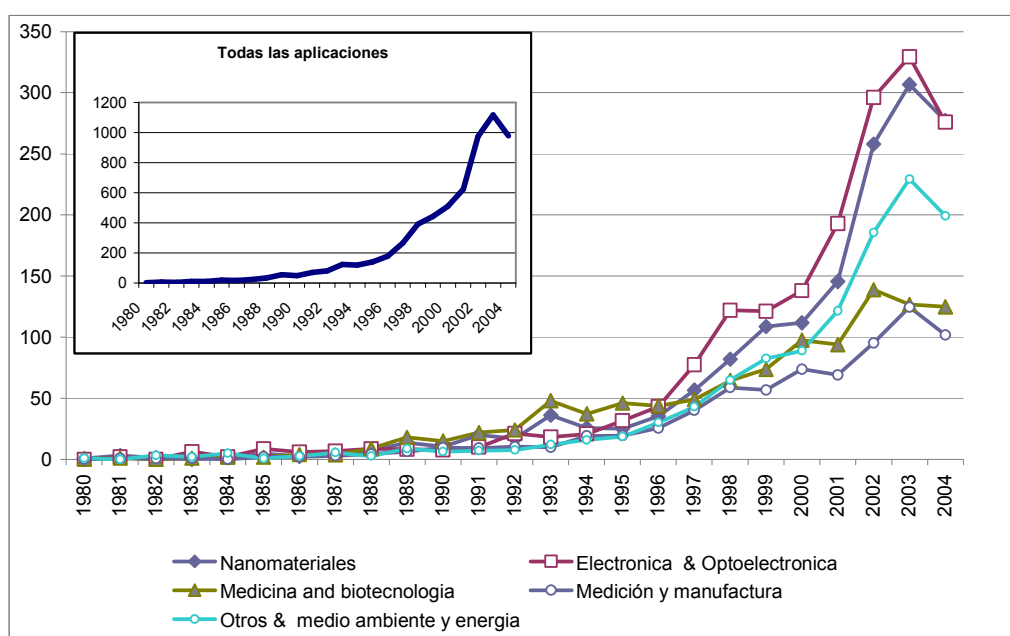
desarrollados; y 2) en qué medida éstos abren ventanas de oportunidad para los países en desarrollo, y en particular de América Latina, teniendo en cuenta la importancia de la estructura industrial previa y la importancia de las inversiones en CyT y en infraestructura de apoyo necesaria para el impulso a estas actividades. 3) Que acciones están abordando las nuevas políticas en C-T e Innovación para apoyar al sector productivo.

1.- Definición y naturaleza del paradigma de la nanotecnología

Las Nanotecnologías comprenden el diseño, la caracterización, la producción y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas, controlando su forma y su tamaño a la nano-escala. El interés de la industria radica que a nivel de la nano-escala las propiedades de los materiales son radicalmente diferentes a la de escalas mayores².

Aún si se encuentra en una etapa muy temprana, las potencialidades de las nanotecnologías despiertan grandes expectativas de ganancias. Por el momento, las aplicaciones industriales siguen trayectorias incrementales y limitadas a ciertas técnicas de síntesis química a partir de nanopartículas, y a técnicas de ingeniería de precisión de la industria electrónica. No obstante ello, como puede apreciarse en el gráfico N°1, comienza a verificarse un crecimiento en el patentamiento de nanotecnología desde inicios de los años '80. Este ritmo de patentamiento se acelera entre la segunda mitad de los '90 e inicios del milenio (Gráfico N°1).

Gráfico N°1. Nanotecnologías: tendencias en el patentamiento según diferentes áreas de aplicación (PCT aplicadas). 1980-2004



Fuente: OECD Science, Technology and Industry: Scoreboard 2007

² Los materiales a una escala nano son mas reactivos químicamente que a una escala mayor, frecuentemente materia inerte, aumentando su fortaleza o sus propiedades eléctricas. Por su parte, los efectos cuánticos (quantum effects) son más probables a la nanoescala, afectando las propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas de los materiales (*The Royal Society*, 2004; p.7).

El paradigma de la nanotecnología presenta una serie de características similares a otros paradigmas, pero también algunos aspectos que son diferentes:

- Al igual que en el caso de las biotecnologías, existe una fuerte **interpenetración entre la ciencia y la tecnología**. La nanociencia comprende el estudio de los fenómenos y la manipulación de los materiales en una escala de átomo, molécula o macromolécula. Esto ha dado lugar a analizar las nanociencias y nanotecnologías (NanoCyT) conjuntamente. Sin embargo, como demuestra Meyer (2007), aun si existen interacciones en Nanociencias y nanotecnologías aún son limitadas³.
- Al igual que las biotecnologías, las NanoCyT son **multidisciplinarias** abarcando campos científicos y técnicos diversos (física, ingeniería, biología molecular y química)⁴, en las cuales se trascienden los límites a fin de utilizar y controlar las propiedades fundamentales de la materia a la escala nanométrica. En consecuencia, las nanotecnologías presentan grandes potencialidades de **convergencia** entre distintas disciplinas. Sin embargo, como señalaremos en la sección 2, las estrategias de las empresas no evidencian por el momento una confluencia de estas áreas de conocimiento a nivel industrial.
- Si existe una convergencia entre distintas nanotecnologías, está es vehiculizada por el desarrollo de instrumental científico. Al igual que el PCR inventado por Cohen y Boyer en 1973 en el caso de las biotecnologías, las nanociencias y nanotecnologías se basan en herramientas habilitadoras (*enabling tools*) que permiten el avance en la investigación y la producción (Darby, et al, 2003; p.12). Las grandes oportunidades de las nanociencias y las nanotecnologías se producen desde inicios de los años '80 con el desarrollo de **instrumental** que permiten la observación y la medición de las propiedades de átomos y moléculas, posibilitando importantes avances tanto en las nanociencias como en las nanotecnologías⁵. Estudios a partir de citaciones de patentes muestran que las herramientas científicas han sido la única plataforma a partir de la cual se articula (1) la nano-ciencia y la nano-tecnología (2) los distintos campos de la Nanotecnología (Meyer, 2007; p.16).

La gama de actividades en las cuales las nanotecnologías presentan posibilidades de desarrollo es aún más amplia que el de las biotecnologías, en cuanto involucran la manipulación y el

³ Para el período 1992-1996, 2,2 publicaciones en nano-ciencia fueron citadas en promedio por cada patente nanotecnológica, cuando en el caso de las biotecnologías y biociencias esta relación es de 3,53 publicaciones citadas por patente (Meyer, 2007; p. 11).

⁴ A partir de de citas realizadas en los artículos de Nanociencias (CAICyT, 2008, p.22), se destacan las citas realizadas a artículos de química (14.688 citas), Ciencia de los materiales (12.489), Física (12.084), Ciencia de los polímeros (7.244), Ingeniería (5.537), y Bioquímica y biología molecular (4.600).

⁵ Este es el caso de herramientas sofisticadas como el microscopio con escáner en túnel (STM), el microscopio de fuerza atómica (AFM) y el microscopio de transmisión de electrones (TEM), que permiten no solo comprender la relación entre las formas y las propiedades de la materia, sino también el control de los procesos a una nanoescala y diseñar nuevos materiales con propiedades específicas.

control a nivel de nano-escala tanto de materiales orgánicos como inorgánicos. En consecuencia su carácter **transversal** posibilita procesos de diversificación industrial que trascienden las aplicaciones actuales. No obstante, la dirección y ritmo del progreso técnico difiere según las distintas aplicaciones (Gráfico N°1). Son las aplicaciones en materiales y aplicaciones en electrónica y optoelectrónica las que muestran un crecimiento mayor en el patentamiento desde mediados de los '90.

El campo en el cual las nanotecnologías han mostrado un mayor grado de expansión ha sido el de los **nuevos materiales**⁶. Los productos con nanomateriales comercializados alcanzaron el 65,7% (96.680 millones de dólares) de las ventas totales de las aplicaciones de la nanotecnología en el año 2007 (Bradley, 2008; p.8). Las nanotecnologías han permitido la construcción de materiales mejorados, más fuertes, livianos y flexibles. Las propiedades de los materiales tan diversos como una pintura o el silicio se encuentra en su estructura a una escala micro o nano. Las aplicaciones hoy existentes de nanomateriales incluyen capas muy delgadas usadas en electrónica. Estas son aplicadas en la fabricación de componentes para displays, baterías, microsensores y catalizadores (The Royal Society, 2004; p.7).

Existen a escala de laboratorio desarrollos con gran potencial como es el caso de superficies activas (ejemplo: ventanas que se autolimpian) y nanotubos de carbón – rollos de carbón que miden unos pocos nanómetros de diámetro y unos pocos centímetros de largo,- que son extremadamente fuertes y flexibles, y pueden en forma simultánea pueden conducir electricidad. Otro campo de aplicación con importante ritmo de adopción actual y potencial es el de la *electrónica y optoelectrónica*⁷. Estas industrias son el segundo campo de expansión de las nanotecnologías, representando el 23,8% de las ventas (35.074 millones de dólares) (Bradley, 2008). A más largo plazo, es importante la *convergencia de la nanotecnología con la biotecnología*, con impactos importantes en el diagnóstico de enfermedades y en aplicaciones orientadas a sitios específicos del cuerpo o bien para el desarrollo de imágenes de moléculas⁸. También encuentran convergencia en la industria Textil para la generación de nanofibras celulósicas, es decir fibras ultradelgadas a partir de diversos materiales biopolímeros generados en bacterias.

2. Impactos de las nanotecnologías en los procesos de manufactura

Los procesos de manufactura de productos de la nanotecnología involucran dos conjuntos de técnicas muy diferentes, que se traducen, como analizaremos en la sección 2 en trayectorias tecnológicas heterogéneas. Por un lado, técnicas *Top down*, que se orientan a la fabricación de

⁶ Comprende partículas de óxidos, nanocompuestos orgánicos e inorgánicos, y aún en su fase inicial de desarrollo nanotubos de carbón, nanofibras y cerámicas.

⁷ Comprende aplicaciones en láseres, cristales fotónicos, e instrumentos ópticos.

⁸ En la actualidad hay diversas líneas de investigación en estas direcciones, encontrándose varias de ellas en etapa de pruebas clínicas. También existe en el futuro potencialidades para la construcción de materiales y dispositivos para la ingeniería y construcción de células. Muy a largo plazo se evalúa poder construir retinas artificiales que puedan detectar y procesar información (The Royal Society, 2004; p.19).

estructuras muy pequeñas a partir de piezas más grandes de material (ejemplo: diseñar y fabricar circuitos en la superficie de un micro-chips de silicio). Esto requiere técnicas de ingeniería de (ultra) precisión y litografía como han sido utilizadas durante años en la industria de semiconductores, de reproductores de DVD y CD.

Por el otro, se han venido desarrollando nuevas técnicas *Bottom-up*, que posibilitan la fabricación de estructuras átomo por átomo, molécula por molécula. Estas incluyen la síntesis química, el “autoensamblado”, y el “ensamblado posicional”. La producción de nanomateriales a partir de procesos de síntesis química se encuentra ampliamente difundida⁹. En cambio, los procesos de “autoensamblado” se encuentran en sus primeros pasos y acotados a la producción de materiales aún poco sofisticados¹⁰. Sus ventajas se encuentran asociadas no solo a las innovaciones de productos, sino también a que estos procesos son los mismos que generan importantes ahorros de costos de energía y de desperdicios *vis a vis* las técnicas *top down*. La combinación de avances en la instrumentación y en la modelización de computadoras, pueden posibilitar el desarrollo de procesos más complejos.

Las técnicas *bottom up* son las que presentan una mayor interpenetración con la actividad de Investigación y Desarrollo (I&D, y han dado lugar al desarrollo de nanotubos de carbono, con importantes potencialidades de renovar una amplia gama de fabricaciones dado que involucran nuevos productos y nuevos procesos con ahorros de costos significativos en múltiples industrias; si se consolidan podrán sentar las bases de un nuevo paradigma tecno-económico, entendido como un conjunto de cambios tecnológicos y de cambio estructural que altera los costos del conjunto amplio de las actividades a partir de un nuevo insumo clave, las actividades motrices y sus formas de organización (Freeman y Perez, 1988). Sin embargo, aún existen fuertes limitaciones para principales barreras a la expansión de estas tecnologías a nuevas aplicaciones industriales, estas son, por un lado, limitaciones en el desarrollo de modelos que permitan comprender las relaciones entre las funciones y la estructura de los materiales necesarias para mantener los diseños desde el nivel nano al macroscópico. Por el otro, dificultades en el pasaje del laboratorio de I&D a la producción industrial. En particular la existencia de técnicas inadecuadas para la caracterización y el desarrollo de herramientas de medición, que dificultan el monitoreo y control de procesos a nivel nanométrico (The Royal Society, 2004; p.19).

⁹ Distintos tipos de óxidos metálicos utilizados en la industria de cosméticos (dióxido de titanio, óxido de zinc, dióxido de silicio, etc..) se fabrican en polvos secos o suspensiones líquidas, a un nivel de 10.000 toneladas por año. Sin embargo, sus aplicaciones son diversas, y con mayor potencial en una multiplicidad de otras aplicaciones

¹⁰ En estas técnicas los átomos o moléculas se ordenan por si mismos en nuevas estructuras a partir de sus propiedades físicas y químicas (por ejemplo, el autoensamblado de cristales utilizados en las industrias de semiconductores)

3.- Cambios en la organización de la I&D a la luz de los nuevos paradigmas

Si desde un punto de vista estrictamente técnico, las potencialidades de las NanoCyT se manifestaron a inicios de los años 80 con el desarrollo de herramientas sofisticadas como el microscopio con escáner en túnel (STM), las inversiones masivas en las mismas adquirió fuerte impulso a partir de los grandes programas públicos implementados por los gobiernos de los países desarrollados desde inicios del milenio. Las inversiones en NanoCyT crecen sostenidamente desde el año 2001, cuando el gobierno de los Estados Unidos lanzó a iniciativa de varias agencias gubernamentales y grandes empresas multinacionales, su programa de investigación (*National Nanotechnology Initiative*)¹¹ y muchos otros países del mundo lo siguieron. Como producto de la Iniciativa, EUA casi dobló su gasto federal en nanotecnología y, después del 11.09, mantuvo sostenidamente ese gasto al “resguardar” dicha partida bajo la idea de ser imprescindible para la seguridad nacional de ese país en el futuro próximo. El gasto federal en nanotecnología pasó, entonces, de 270 millones de dólares en el 2000 a 464 millones en 2001. A partir de 2003, y después de otros ámbitos políticos, ése ya superaba más los tres mil millones de dólares anuales.

Cuadro N°1: Financiamiento público a la I&D en Nano CyT.

País	Gasto en nanociencias y nanotecnología
Estados Unidos	El “1st Century Nanotechnology Research and Development Act” aprobada en 2003 asignó U\$D 3,7 mil millones anuales desde 2005 a 2008 (excluyendo los gastos orientados a usos militares), contra los 750 millones asignados en 2003.
Europa	El financiamiento anual es cercano a 1000 millones de euros, dos tercios proveniente de programas nacionales y regionales. En el plan de acción 2009-2013, el financiamiento comunitario aumentó a 1350 millones de euros.
Japón +	El financiamiento alcanzó U\$D 400 millones en el año 2004
Inglaterra	Con el lanzamiento de su estrategia nanotecnológica en el año 2003, el gobierno ingles asignó 45 millones de libras anuales entre 2003 y 2009

Fuente: European Comission (2004, 2007, 2013)

Es importante resaltar que lo que se puede identificar es que desde la NNI se viene reestructurando parte del Sistema Nacional de Innovación de Estados Unidos. Tres son los mecanismos centrales: 1) el establecimiento de centros de excelencia nacionales en nanociencias orientados a los “grandes desafíos”, en su mayoría centros tecnológicos localizados en las principales universidad bajo financiamiento de la *National Science*

¹¹ El trasfondo de la denominada National Nanotechnology Initiative, NNI, aprobada en 2001, se sostuvo fundamentalmente en un estudio realizado entre 1996-1998 por el World Technology Evaluation Center a petición de la *National Science Foundation*, NSF, y otras agencias gubernamentales bajo la administración Clinton que ahora constituyen la estructura operativa central de tal iniciativa. Según se informa, entre los expertos en la materia que realizaron el estudio estaban representantes de grandes empresas multinacionales como Exxon Research and Engineering Company; Motorola y Eastman Kodak, otros 23 multinacionales vinculadas a la industria militar donde sobresalen Lockheed Martin, Honeywell, Bell South, Duke Energy, Intel, Dell o Glaxo SmithKline (Delgado, G.2007; pa 165).

Foundation y del Ministerio de Defensa; 2) la conformación de una red nacional de trabajo en nanotecnología que vincule desde la conformación de diversos centros de excelencia, al menos una agencia del gobierno, universidades y, en la medida de lo posible, el financiamiento empresarial; y 3) la creación de una red de comunicación para nanotecnología que permita el uso de infraestructura a distancia y posibilite el análisis e interpretación de datos y modelos a un número mayor de centros e institutos de investigación (Delgado, 2007; p. 169).

Europa muestra una importante base de conocimientos en nanociencias mostrando limitaciones en la articulación entre ciencia y tecnología. A diferencia de Estados Unidos, no cuenta con un programa europeo en nanotecnología, coordinado y/o centralizado en función de prioridades comunitarias. Mientras que en Estados Unidos más de dos tercios de la financiación se asigna a través de la NNI bajo los auspicios del programa federal, en Europa la mayor parte del financiamiento corresponde a programas nacionales y regionales de los países miembros (European Comisión, 2004). En los sucesivos planes de la Comisión se implementaron acciones para intentar resolver estas falencias (European Comisión, 2007). A partir de estos planes ha combinado el impulso al desarrollo de infraestructura común y polos de excelencia¹², programas educativos y planes de movilidad y formación de investigadores. Por su parte, a través de una serie de programas se hace más hincapié en satisfacer las necesidades de la industria en materia de I+D, por ejemplo teniendo en cuenta elementos de los programas estratégicos de investigación de las plataformas tecnológicas europeas¹³.

Se estima las inversiones de Investigación y Desarrollo (I&D) en esta área a nivel mundial para el año 2005, en 9,6 mil millones de dólares (*Lux Research*, 2005). Desde 2005 las inversiones privadas en I&D superaron a los fondos públicos. En el año 2007, las inversiones totales alcanzaron 13,5 mil millones de dólares, de los cuales el 48,6% fueron privadas, 46% de fondos públicos y 5% de capitales de riesgo (Bradley, 2008; p.8). El financiamiento se encuentra concentrado en los países de la tríada. El 76% del financiamiento corporativo global de estas tecnologías se concentra en Estados Unidos (2,46 mil millones) , Japón (2,04 mil millones) y Alemania (0,56 mil millones). Estos mismos países concentran el 58% de la oferta de financiamiento público.

¹² Este es el caso de las plataformas tecnológicas europeas y los proyectos de I+D en colaboración, sobre todo las redes de excelencia (por ejemplo, las redes Nanoquanta6 y NanoLife)

¹³ En el 6° PM se apoyó la elaboración de planes de trabajo que conducen a aplicaciones industriales (por ejemplo, de nanomateriales) mediante una amplia difusión de los resultados a la industria europea (por ejemplo, NanoRoadSME y NanoRoadMap). Esta actividad ha reforzado el trabajo realizado por las plataformas tecnológicas europeas, por ejemplo ARTEMIS (sistemas de computación empujados), ENIAC (nanoelectrónica), EPoSS (integración de sistemas inteligentes), FTC (futuro del textil y la confección), ManuFuture (futuras tecnologías de fabricación), NanoMedicine, Seguridad Industrial y SusChem (química sostenible). En el mismo ámbito, cabe citar el Grupo de Trabajo sobre Micronanofabricación (MINAM) y la red MNT ERA-Net. La acción de coordinación de CONCORDE-NSOCRA sobre los catalizadores de óxidos nanoestructurados ha puesto claramente de manifiesto el impacto positivo de las N+N en la eficiencia energética de los procesos industriales y en el medio ambiente (European Comisión, 2008, p. 14).

Cabe interrogarse a título especulativo cuales son los efectos de estas inversiones sobre las formas de competencia y de organización de la producción de conocimiento CyT, dada la naturaleza de las Nanotecnologías analizada en la sección previa. En particular, si la emergencia de estas tecnologías genéricas implicará un reemplazo de las capacidades existentes en las industrias de aplicación, en el marco de un proceso shumpeteriano de destrucción creadora. O por el contrario, si las mismas generarán procesos de diversificación tecnológica coherente de la base de conocimiento previa, dando lugar a una dinámica de acumulación de capacidades CyT. El involucramiento de las firmas en las nuevas disciplinas puede exigir una diversificación de la base de conocimientos de las grandes empresas incumbentes y a las empresas especializadas de los paradigmas previos (biotecnología y microelectrónica). Si como en el caso de las farma biotecnologías las nuevas capacidades son sustitutas a las existentes, esto se traduciría en una menor coherencia de la base de conocimientos de estas firmas y generará una posibilidad de entrada de nuevas empresas especializadas¹⁴. Por el contrario, si las nanotecnologías presentan fuertes posibilidades de complementariedad con los paradigmas existentes, las grandes empresas incumbentes podrán mantener sus ventajas competitivas. En otras palabras, si las nanotecnologías complementarias a las tecnologías previas, las firmas con bases de conocimientos extensas, aprendizajes y redes desarrolladas tendrán incentivos a invertir en nanociencias y nanotecnologías. De verificarse esta última dinámica, es de esperar que las barreras a la entrada permanezcan elevadas, dificultando las posibilidades de crecimiento de las empresas especializadas en nanotecnología y empresas de países en desarrollo.

El carácter aún incipiente del nuevo paradigma impide realizar afirmaciones definitivas. Existen evidencias contradictorias al respecto. Para Darby et al. (2003; p.7), las nanotecnologías constituyen una ruptura similar a las biotecnologías en la industria farmacéutica. En consecuencia, éstas amenazan el liderazgo de las empresas instaladas, que ven desvalorizarse sus capacidades, y crean oportunidades de entrada para nuevas empresas (Shea, 2005). Estos autores plantean que, los *starts-ups* juegan un rol clave en el desarrollo económico de las nanotecnologías.

En el mismo sentido, Avenel *et al.* (2007, p. 21) demuestran a partir de una base de patentes mundial que las grandes empresas si bien diversifican su base de conocimiento hacia las NanoCyT, lo hacen a partir de la simple yuxtaposición de proyectos nano-tecnológicos con débil complementariedad. Aun si existen complementariedades potenciales entre las distintas nanotecnologías, estudios de caso de firmas que solo en casos ocasionales (y marginales) existen esfuerzos para recombinar e integrar los diferentes aspectos de las nano-tecnologías (Meyer, 2007, p.9). Luego, la convergencia entre las NanoCyT no se manifiesta en los hechos. Esto lleva ciertos autores a plantear especulativamente la hipótesis que a medida que se difunda

¹⁴ Este es el caso de las modernas biotecnologías en la industria farmacéutica, que son en gran medida sustitutas a varias etapas de síntesis química, ahorrando varias etapas de estos procesos.

el paradigma, se verá reducida la coherencia de la base de conocimiento de las grandes empresas, reduciendo su propensión a innovar y abriendo la posibilidad de entrada de pequeñas empresas especializadas en nanotecnología (Avenal, et al, 2007; p.31).

En particular, las posibilidades de emergencia de procesos de destrucción creadora de capacidades CyT están asociadas a los avances en las técnicas de manufactura “*bottom up*”. Estas innovaciones implican cambios radicales en nanomateriales (nanotubos de carbono para la fabricación de materiales resistentes y con propiedades electromagnéticas) y de procesos (ahorros sensibles de costos). Estos desarrollos son los que han explicado la aceleración en la actividad inventiva en la última década, y sus aplicaciones se encuentran asociadas a aplicaciones diferentes a las dominadas por las actuales empresas líderes, en particular en el campo de instrumentos de medida y manufactura, que juegan un fuerte rol articulador de varias nano-tecnologías, hasta ahora fuertemente divergentes y específicas a las trayectorias previas (Igami y Okazaki, 2007,pagina 22)

Si bien las posibilidades de una nueva fase caracterizada por una mayor competencia y recomposición del oligopolio no quedan descartadas a medida que se perfeccionen las técnicas *botom up*, diversos autores señalan que en la fase actual de desarrollo de las NanoCyT, estas muestran una dinámica diferente respecto a la fase correspondiente al inicio del paradigma biotecnológico (ver **Cuadro N°2**):

- Si bien las grandes empresas instaladas no aprovechan la convergencia entre distintas nanotecnologías, las mismas están desarrollando NanoCyT asociadas a su base de conocimientos previa (Meyer, 2007, p.9)¹⁵. Se trata de una ampliación de las capacidades de los paradigmas existentes, a diferencia de las farma biotecnologías en que los desarrollos basados en el ADN transformaron radicalmente las capacidades existentes. Las empresas instaladas se benefician de su base de conocimientos existente, de sus redes y de sus aprendizajes, al igual que en el caso de las aplicaciones industriales de la biotecnología.
- La importancia de las trayectorias tecnológicas previas, hace que acceso a instalaciones de investigación y de producción constituyan activos complementarios claves. Este es en particular el caso de las aplicaciones de la NanoCyT en electrónica y optoelectrónica. Pero también es un requisito relevante para la incursión en las nano biotecnologías, en el cual el acceso a instalaciones de Universidades y empresas son cruciales para el desarrollo de la actividad.

¹⁵ A partir de casos de estudio para Inglaterra y Alemania, Meyer (2007) ilustra que muy pocas empresas cruzan las fronteras entre las distintas NanoCyT, tales como nano-partículas, films nano-estructurados, nano-componentes. Es más, los casos muestran que más allá de la diversificación tecnológica, las empresas tienden a fabricar solo una tecnología con una, y en menor medida, varias aplicaciones industriales.

- La importancia del acceso a instalaciones de investigación y producción explica que el desarrollo de la NanoCyT y de las empresas especializadas sea mucho más polarizado geográficamente que en el caso de las biotecnologías, requiriéndose la cercanía a centros de excelencia científica con el acceso a plataformas e instalaciones, sean públicas o privadas (Avenal, et al, 2007, p.31). Este es un aspecto que debe ser tomado en cuenta a la hora de promover estas tecnologías en países en desarrollo.

Es importante resaltar que según diversos estudios de caso compilados por Meyer (2007; p.19), las actividades nano-tecnológicas de las firmas son mayoritariamente incrementales y específicas a la resolución de problemas de los sectores de aplicación. Como sostiene un reciente informe de la consultora *Lux Research*, no existen grandes rupturas que despierten el interés de los fondos de inversión y capitales de riesgo (Bradley, 2008; p.23). En pocos casos las actividades nano-tecnológicas desarrolladas se corresponden con las actividades principales de las mismas. No obstante ello, las grandes empresas mantienen los gastos de I&D en nanotecnologías en los últimos años, recurriendo en forma gradual a fuentes externas de innovación a partir de *joint ventures* por producto con Universidades o empresas especializadas.

Cuadro N°2. Biotecnologías y Nanotecnologías: Diferencias en la configuración industrial

	Biotecnologías	Nanotecnologías
Naturaleza de los Paradigmas	<ul style="list-style-type: none"> - Alta interpenetración entre Ciencia y Tecnología (CyT). - Convergencia entre distintas oleadas de biotecnologías. - Rol clave de nuevos métodos de investigación (<i>enabling technologies</i>) - Carácter genérico y transversal . - Distintos grados de complementariedad y ruptura de los sendero tecnológicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Interpenetración entre C y T acotada a ciertas áreas. - Convergencia entre nanotecnologías aun limitada. - Rol clave de instrumentación científica en la articulación entre nanotecnologías. - Transversalidad potencial a industrias con materiales orgánicos e inorgánicos. - Alta dependencia de sendero específica a sector de aplicación.
Trayectorias	<p>Farma: Competencia/coexistencia entre paradigmas nuevos y trayectorias preexistentes</p> <p>Agro e insumos industriales: convergencia entre paradigmas nuevos y trayectorias preexistentes; paquetes tecnológicos</p>	Alta convergencia entre nuevo paradigma Nano CyT y trayectorias tecnológicas preexistentes (materiales, electrónica, química). Convergencia potencial con biotecnologías.
Infraestructura Crítica	Infraestructuras de CyT genéricas	Infraestructura y equipamiento costoso y específico a las aplicaciones industriales.
Organización Industrial	DBF como interfase entre academia y las grandes firmas. Oligopolio estratificado en biofarma, concentración en agro e insumos industriales	Concentración en grandes grupos diversificados. DNF (<i>dedicated nanotechnological Firms</i>) con estrategias de integración de la cadena de valor.
Forma de coordinación	Alianzas, redes público-privadas, clusters, mercados de conocimiento en CyT basados en propiedad intelectual (PI).	Alianzas Publico-Privadas y clusters con “Grandes Usuarios” en el marco de grandes Programas Nacionales vinculados a usos militares y civiles.

Fuente: Elaboración propia

Esto plantea como interrogante si el desarrollo de un mercado de conocimiento CyT posibilitará una nueva organización de la I&D que pueda responder a este desafío. En particular, si emerge un modelo de organización de la I&D caracterizado por la división del trabajo entre generadores especializados de tecnología y producción a escala industrial.

Si bien existen diferencias en el grado de entrada de empresas entre países. Un estudio econométrico a partir de una muestra de empresas con actividades en Nano CyT en Alemania muestra que hasta el año 2005, aquellas empresas PyME que cuentan con estrategias de DPI, no llevaban adelante estrategias de licenciamiento de su tecnología o la cooperación para la producción y comercialización (Fiedler y Welpel, I., 2006, p.2). Según los autores, esto se explica por la alta incertidumbre, la indefinición de mercados, el desconocimiento de los productos y las dificultades para sus aplicaciones. Esta alta incertidumbre, propia del estadio de difusión del paradigma, se traduce en altos costos de búsqueda y negociación respecto al reparto de “royalties” y cláusulas contingentes en los contratos, desincentivando la realización de acuerdos de cooperación de las actividades de fabricación y comercialización. Contrariamente, la estrategia dominante entre las empresas con desarrollos propios patentados, es la entrada en el mercado como fabricante, ya sea mediante la construcción de sus propias capacidades¹⁶.

Diversos estudios señalan el débil desarrollo de los capitales de riesgo en las Nano CyT. Frente a una expansión de este tipo de financiamiento entre 1999 y 2002, el mismo se vio estancado en el año 2002, y luego creció a tasas menores, no superando el 5% del financiamiento total en la actualidad (Bradley, 2008; Hullman, 2006). Entre las razones que pueden explicar el escaso desarrollo de estas formas de valorización financiera de las NanoCyT, diversos trabajos señalan los riesgos de aceptación por los consumidores de este tipo de tecnologías. Esto está asociado a las limitaciones institucionales y regulatorias que abarcan las falencias en la estandarización y clasificación de los nanomateriales y los procesos, así como en la gestión de los riesgos de salud, seguridad y medioambientales. Hasta que estas falencias no se resuelvan, existirán por un lado, limitaciones para el desarrollo de economías de escala, y por el otro, para la aceptación por parte de los usuarios y altos costos de transacción en las cadenas de valor (The Royal Society, 2004, p. 25; p. Innovest, 2005, P. 11). De ser superadas las limitaciones regulatorias existe una importante oferta de financiamiento, existiendo al menos dos fondos de inversión especializados en nanotecnologías que incluyen sólo empresas de este sector¹⁷.

¹⁶ Solo en los casos en que los activos complementarios para la producción y comercialización sean muy importantes es probable una estrategia de cooperación en el caso de las PyMEs. Contrariamente, en el caso de las grandes empresas, la importancia de los activos complementarios no favorece la realización de acuerdos de cooperación, optando por la integración vertical.

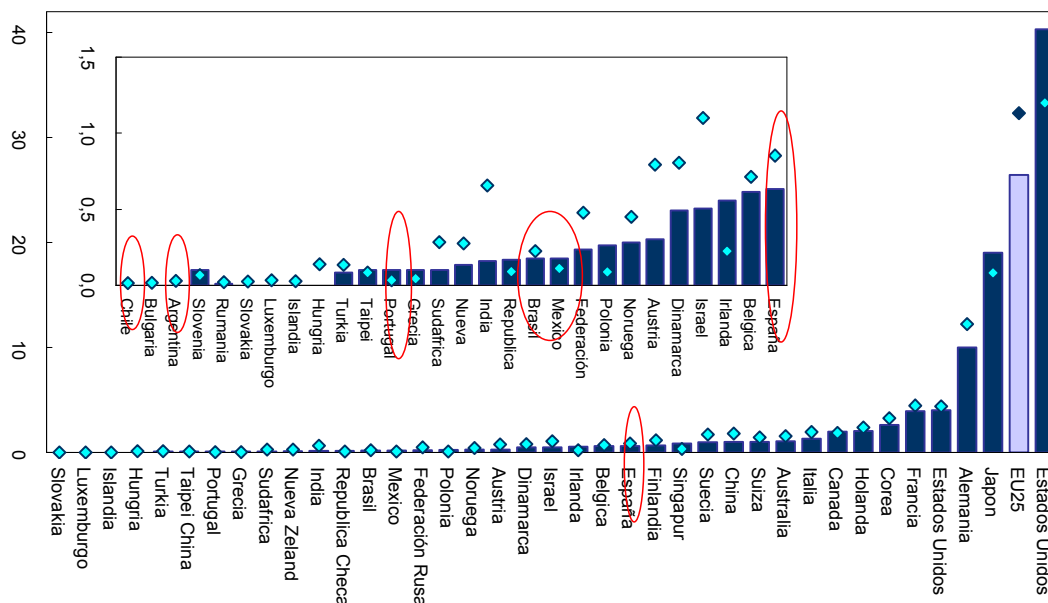
¹⁷ El Global Crown Capital Nanotechnology Index (TM) y el PowerShares Lux Nanotech Portfolio. en sectores clave de las nuevas tecnologías.

En resumen, el desarrollo económico de las nanotecnologías parece estar más asociado a los grandes programas gubernamentales, a consorcios público-privados y a la expansión de trayectorias previas de grandes empresas instaladas, en las cuales los productos nanotecnológicos se integran en las cadenas de valor como un insumo o componente. La importancia de la acumulación de capacidades en las tecnologías principales preexistentes, resulta en importantes barreras a la entrada. Por lo tanto, no se verifica un proceso de destrucción creadora de capacidades en la cual se desplace a las empresas líderes. Sin embargo, todos los trabajos predicen que a medida que se profundice el uso de las nanotecnologías con técnicas “bottom up”, las empresas líderes enfrentarán limitaciones para integrar una gama creciente de nanociencias y nanotecnologías, que aunque son complementarias son muy disímiles. Pero a diferencia de la biotecnología, por el momento estas oportunidades no se expresan en el desarrollo de mercados de conocimiento NanoCyT. Esto se explica por un lado, por la alta incertidumbre técnica y regulatoria propia de la fase inicial del paradigma, y por el otro, por la ausencia de grandes rupturas asociadas a innovaciones radicales de productos finales que despierten el interés de los inversores institucionales.

4.- Capacidades en Nanotecnologías en los países de América Latina

Estados Unidos, Europa y Japón aplicaron el 85% de las patentes aplicadas a nivel internacional en nanotecnología, mostrando un grado de concentración mayor que en el caso de las biotecnologías (56,6%). Frente a la fuerte inversión pública e importancia de la base de conocimientos CyT de los países de la tríada, los países de América Latina se encuentran rezagados en la inversión y en el desarrollo de capacidades tecnológicas en general, y en particular en las Nanotecnologías.

Gráfico N°2. Nanotecnologías: participación de los distintos países en el total de patentes mundiales (en %). Año 2004.



Fuente: OECD Science, Technology and Industry: Scoreboard 2007

En el cuadro N°4, se presentan un conjunto de indicadores comparativos de las capacidades en NanoCyT para los países de la región. En el marco de fuerte concentración de las capacidades científicas y tecnológicas en Estados Unidos, Japón y Alemania, América Latina representa el 3,4% de las publicaciones en nanociencias mundiales y solo el 0,2 % de las patentes internacionales totales otorgadas entre el año 2004 y 2006.

Cuadro N° 4. Financiamiento a la I&D y capacidades en NanoCyT en países de América Latina

	EEUU	Brasil	México	Argentina	Chile	Cuba	Uruguay
Financiamiento Público NanoCyT							
2005 (millones USS)	5700 (1)	27-40 (2)	12,4 (4)	2 (3)	10 (2)	s/d	s/d
Investigadores NanoCiencia	s/d	358	s/d	300	s/d	s/d	s/d
Publicaciones (2000-06) (5)	69347	4521	1938	1184	501	268	70
% Nanopublicacion Mundial	27,79	1,81	0,78	0,47	0,20	0,11	0,03
Patentes titulares PCT (2000-06) (5)	26484	45	20	11	9	6	2
% Nanopatentes Mundial	57,61	0,10	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00
Patentes inventores (2000-2006) (5)		84	41	46	18	7	5
Empresas		13	s/d	5	s/d	s/d	s/d
Publicacion/investigador		12,6	s/d	3,9	s/d	s/d	s/d
Grado aprovechamiento CyT	0,38	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Patentes inventores/patentes titulares		1,9	2,1	4,2	2,0	1,2	2,5

Notas: (1) Nano technology Initiative 2010 ; (2) Estimado a partir de Niosi y Raid (2007) y Masch (2007); (3) Presupuesto del FAN anualizado; (4) European Commission(2004); (5) CAICyT (2008)

Al interior de la región, los distintos países muestran distintos niveles de capacidades en NanoCyT y grados de impulso a estas actividades desde la estructuración de Programas Nacionales de apoyo:

- **Brasil** es el país de la región con mayores posibilidades de aprovechar las oportunidades abiertas por el nuevo paradigma tecnológico, combinando un gran tamaño de su mercado interno (184 millones de habitantes), su relativo mayor grado de industrialización y una temprana implementación de un programa nacional en NanoCyT. La mayor parte de la investigación se realiza en Universidades (Campinas y San Pablo) y se articula en redes descentralizadas financiadas por el gobierno federal. Sus 358 investigadores, se orientan preferentemente a nanoestructuras (150) y nanobiotecnologías (92). De las 13 empresas existentes, 9 llevan adelante proyectos de nanobiotecnologías (Martins, *et al*, 2007). Si bien es el segundo país de la región en nivel de patentamiento, se verifica un importante sesgo hacia actividades de investigación básica que se ve confirmado en la baja relación entre patentes y publicaciones en Nano CyT.
 - **México** es el tercer país de la región en cantidad de publicaciones y patentes en NanoCyT. No cuenta con un programa nacional de NanoCyT, pero existen varios proyectos de financiamiento público de estas actividades en nanomateriales, en su mayoría bajo convenios bilaterales con los Estados Unidos y la Unión Europea. En el año 2004, existían 3 grupos y 11 universidades con una especialización en investigaciones sobre nanomateriales (Malsch, 2004). Desde el año 2004, sus principales centros de investigación se articulan en una red binacional de colaboración con Estados Unidos para el desarrollo de sistema micromecánicos (MEMs) y algunos nanomecánicos (NEMS) (Foladori, 2006). Por su parte la multinacional química Clariant decidió construir una planta para la producción de químicos para nanobiomateriales. Diversos autores han señalado que Mexico enfrenta serias falencias en términos de equipamiento, cuya actualización queda limitada a las donaciones puntuales de sus socios extranjeros (Filadori, 2006).
 - **Argentina** ocupa el quinto lugar en nivel de publicaciones y patentamiento en NanoCyT y desde el año 2005 cuenta con un Plan Estratégico de desarrollo de las Micro y nanotecnologías. La Argentina cuenta con un alto número de investigadores en nanociencias, cercano al de Brasil. Por su parte estas actividades fueron establecidas como prioritarias en el plan de CyT en los próximos 10 años. Estas medidas fueron precedidas por la creación de una iniciativa mixta, la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN), en cuyo directorio se encuentra el gobierno, los principales institutos con capacidades en NanoCyT y una empresa estatal (INVAP). Sin embargo, el conjunto de estas iniciativas no es acompañado por el momento de un gran apoyo presupuestario. El país cuenta con 18 empresas involucradas en NanoCyT, entre las cuales se destaca el grupo Tenaris y la empresa estatal INVAP. Por su parte, existe un impulso reciente a la conformación de consorcios público-privados en el
- Oportunidades y desafíos de la nanotecnología para los países en desarrollo: la experiencia 16 reciente en América Latina. Proyecto “Potencialidades de la biotecnología para el desarrollo industrial en Argentina” CEUR-CONICET**

marco de Fondos sectoriales a la nanotecnología. Al igual que México cuenta con serios limitantes en equipamiento e infraestructura, lo cual coloca al país en una posición desventajosa frente a sus partenaires.

Detrás de estos cinco países se ubican Chile, Cuba y Uruguay. **Chile** si bien cuenta con diversos grupos de investigación, el número de investigadores no supera la veintena (Foladori y Fuentes, 2007). No obstante los recursos económicos a estas actividades son importantes y se explica por la *Iniciativa Científica del Milenio* financiada por el Banco Mundial. Esta iniciativa se basa en un apoyo selectivo a un reducido conjunto de Universidades y la creación de centros de excelencia a partir de las capacidades existentes, que se articulan en acuerdos de cooperación con universidades y centros de investigación extranjeros. Por su parte **Cuba** es uno de los países que por sus importantes capacidades acumuladas en biotecnologías, es de esperar un importante potencial en aplicaciones de nanobiotecnología.

Frente a las enormes brechas en sus capacidades tecnológicas, los gobiernos latinoamericanos, como el de México, Argentina y Chile, buscan insertarse en las redes globales de NanoCyT a través de abrir paso a contados científicos e ingenieros nacionales para que realicen ciertas investigaciones bajo programas de cooperación internacional¹⁸. Según un estudio realizado partir de una metodología de redes, la producción de nanociencia de iberoamérica se articula directa o indirectamente con los dos países líderes en NanoCiencia (Estados Unidos y Alemania) (CAICyT, 2008)¹⁹.

En todos los países de la región, existe un bajo grado de aprovechamiento de las oportunidades científicas en nuevos desarrollos patentados. Situación que en ciertos casos se corresponde con una proyección de los investigadores de la región en patentes de titularidad extra-regional. En particular, cabe destacar que en Argentina por cada patente obtenida por un titular argentino, existen más de cuatro inventores argentinos que participan en patentes extranjeras. Situación que evidencia un importante proceso de absorción de conocimiento NanoCyT por parte de aquellos países (y empresa) que ocupan una posición jerarquizada en las redes globales. Ante las falencias de la política de CyT en la articulación estratégica de la oferta y la demanda tecnológica, se fortalecen las formas de inserción asimétrica en las redes internacionales de CyT.

¹⁸ Estas redes son jerarquizadas y asimétricas, en la que unos pocos países ocupan un rol nodal. En materia de nanociencias, Estados Unidos ocupa el papel central en la red global de colaboraciones científicas, tanto por ser el país que cuenta con más publicaciones en la temática -12.703 artículos en 2006- como por ser el principal articulador de relaciones de colaboración con otros países con una producción importante en este campo (Japón, Alemania y China).

¹⁹ Brasil y México se vinculan directamente con EUA. Por su parte España y Portugal, se articulan directamente con Alemania. El resto de los países, con una menor producción científica se vincula indirectamente: Argentina, Chile, Venezuela y Uruguay se vinculan a través de España. Colombia y Cuba, por su parte se vinculan a la red a través de Brasil, que se establece junto a España como centro emergente en la región (CAICyT, 2008, p.16).

5.- Nanotecnología en Argentina: hacia un nuevo enfoque de políticas tecnológicas

Como se ha destacado en la sección previa, Argentina es el segundo país de América Latina que implementó un programa de nanotecnología a nivel nacional. La Argentina había contado con iniciativas previas, aunque trucas, en desarrollos de instrumentación durante los años 80 (ver recuadro N°1).

El impulso desde una política explícita de apoyo a la nanotecnología comienza en el año 2005 a raíz de la iniciativa de un grupo de física del Instituto Balseiro que entusiasma a las autoridades del ministerio de economía – en ese momento el ministro era Lavagna- en montar un laboratorio limpio en Bariloche. No obstante, esta política no se estructuraba en una política tecnológica sino en las estrategias del complejo militar-industrial de Estados Unidos. Se pretendía desarrollar en el país sensores con potenciales usos en satélites, a partir de una alianza con la empresa *Lucent technologies*, vinculada al Ministerio de Defensa de Estados Unidos. Se crea de esta forma el Fondo Argentino de Nanotecnología (FAN) que financiaría la infraestructura básica – un laboratorio limpio – y Lucent formaría recursos humanos y transferiría tecnología. Este primer esquema era altamente focalizado y cerrado, contaba con un director ejecutivo vinculado a *Lucent technologies*. Esta iniciativa dio lugar a pedidos de informes en la cámara de diputados, motivado en gran parte el carácter cerrado del proyecto y su vinculación con intereses militares de Estados Unidos.

Recuadro N°1: Experiencias trucas: desarrollo nacional de un Microscopio de tunel

Una de las experiencias trucas a destacar es la del desarrollo de un prototipo de microscopio de túnel (Scanning Tunnel Microscope), el primero de América Latina y uno de los 10 desarrollados a nivel mundial. A raíz de una comunicación con un colega mexicano, un investigador del INTI desarrolla a mediados de los años '80 un prototipo en laboratorios del INTI, a través del ensamblado de equipos e insumos existentes. El prototipo contaba con ciertas ventajas, entre ellas que al alimentarse por baterías no generaba ruido electrónico, evitando enmascarar la señal. El proyecto no prospera, y con ello la posibilidad que Argentina se encuentre en el centro de nuevo paradigma que emergería con fuerza a partir de los años '90. La falta de presupuesto, por falta de interés público y privado, impidió avanzar en el este proyecto. El costo del desarrollo local ascendía a solo 50.000 U\$, que podría ser reducido en 20% con esfuerzos adaptativos locales. En 1990 un científico de Estados Unidos crea la empresa

En el año 2006, al cambiar las autoridades del Ministerio de Economía, se reestructura la FAN hacia un modelo de convocatorias abiertas y horizontales, que llamaba a proyectos al sector privado. Con participación del INTI y de otras instituciones, la nueva FAN orienta su fondo de 10 millones de USS hacia proyectos de riesgo. Se aprueban 10 proyectos (de 20 presentados). Sin embargo, el proceso de formulación y de evaluación era altamente engorroso, y muchos de estos proyectos quedaron en el camino. Hacia fines del año 2009, con la creación de un Ministerio de Ciencia y Tecnología, se amplían los instrumentos de financiamiento de tipo horizontal, absorbiendo los proyectos nanotecnológicos y los proyectos de la FAN nunca

Oportunidades y desafíos de la nanotecnología para los países en desarrollo: la experiencia reciente en América Latina. Proyecto “Potencialidades de la biotecnología para el desarrollo industrial en Argentina” CEUR-CONICET

comienzan a utilizar los fondos. A partir del año 2010, la FAN inicia una reestructuración en el que por un lado, se mantiene la ventanilla abierta, y por el otro, el sector público asume un rol de usuario clave (ejemplo: desarrollo de componentes para los convertidores de la TV digital).

Estos cambios se enmarcan en una nueva visión de política tecnológica en la cual el impulso selectivo a las tecnologías de punta complementa a las convocatorias horizontales que caracterizaron a los instrumentos hasta este momento. La creación de Fondos Sectoriales de Innovación Productiva (FONARSEC) para las áreas estratégicas Nanotecnología, Biotecnología y Tecnología de Informática y Comunicación (TICs), así como la promoción de una organización institucional a través de consorcios público-privados. En todos los casos los proyectos presentados deben contemplar y combinar la generación de nuevos conocimientos con posibilidades reales de adaptación y/o transferencia²⁰.

Como resultado de las primeras convocatorias llevadas a cabo en el 2010, el Ministerio aprobó 8 subsidios para nanotecnología y 4 para TICs. La experiencia acumulada del INTI se refleja en su presencia en 5 de los 14 consorcios público-privados seleccionados, tres de los cuales corresponde al área estratégica de Nanotecnología y dos al de TICs. El INTI cuenta con experiencia y desarrollo de capacidades en Nanotecnología, en las áreas de Nanobiosensores, /MEMS, nanoencapsulado, desarrollo de procesos de Micro, nano fabricación electrónico, Microsistemas (MEMS/NEMS), *Lab on a chip*, técnicas nanoscópicas avanzadas e instalaciones como la sala limpia de micro- nano electrónica. Estas capacidades se articulan con el sector privado en los siguientes consorcios:

1. *Plataforma de nanosensores y bionanoinsumos para diagnóstico POC (Point of Care) de enfermedades infecciosas.* El objetivo es la conformación de una plataforma nano-micro-biotecnológica para la generación de nanosensores y bioinmunoinsumos para la detección *in situ* de enfermedades que afecten a la salud humana y la salud animal, como el Chagas y la brucelosis. Tiene como actores participantes del consorcio desde el sector público al INTI- Electrónica e Informática e INTI-Procesos Superficiales y la Universidad de San Martín- Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (UNSAM-IIB), y tres PyMEs: AADEE S.A, Biochemq S.A y Agropharma Salud Animal S.A. En este consorcio existe una división del trabajo en la que el INTI sintetiza y caracteriza las nanopartículas funcionalizadas. La UNSAM-IIB se especializa en el desarrollo de proteínas recombinante, sistemas de diagnóstico y el estudio de agentes patógenos para las enfermedades seleccionadas en la plataforma. La empresa de instrumental médico y

²⁰ A través de este instrumento, se destinarán u\$s 60 millones en los próximos 4 años para impulsar el desarrollo y aplicación de nanotecnología, biotecnología y tecnologías de la información y las comunicaciones en campos estratégicos de la economía argentina. Se ha decidido orientar, además, u\$s 40 millones para promover proyectos innovadores en los sectores de agroindustria, salud, energía y desarrollo social para el período 2010-2014

nuclear AADEE SA, desarrollará los inmunobisensores. El laboratorio nacional Agropharma tendrá a su cargo la producción de los antígenos recombinantes a escala piloto, la red de distribución, la confección, montaje y validación de prototipos. Biochemiq S.A integrará todos los componentes para la obtención de un producto comercial que incorpore el nanosensor y las proteínas recombinantes desarrolladas a escala.

2. *Materiales Magnéticos de estructura Amorfas y nanométricas.* El objetivo es el desarrollo de aleaciones magnéticas de estructura amorfa y nanométrica. El proyecto que incluye el desarrollo de equipos y de procesos de fabricación. Este proyecto se basa en nuevos nanomateriales que permiten un ahorro energético significativo. Participan la Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería- Laboratorio de sólidos amorfos, INTI- Mecánica y la Universidad Católica de Salta, desde la parte pública y la Empresa Electropart Córdoba S.A e Inmeba S.r.l. La división del trabajo en el consorcio involucra la investigación por parte de la facultad de Ingeniería de la UBA de las propiedades estructurales y magnéticas de los sistemas a desarrollar, así como su participación en el ensamble de las tecnologías que permitan la producción de estos productos a escala industrial, instalando una planta piloto. El INTI – Mecánica participará en el modelado numérico de diversos procesos térmicos y mecánicos. Realizará caracterizaciones de los materiales que se produzcan y la generación de protocolos de calidad. La Universidad Católica de Salta - Laboratorio de Materiales Avanzados (LMA): Complementará las actividades de la UBA en lo que respecta principalmente a la caracterización magnética de las chapas para transformadores, respuesta en frecuencia y estudio de las pérdidas magnéticas. La empresa Electropart Cordoba S.A, subsidiaria de una multinacional italiana,²¹ participará junto a la empresa nacional UNMEBAS S.A²².. en el diseño y el desarrollo de los equipos, testeará los productos que se vayan desarrollando y tendrá a su cargo la elaboración y comercialización de estos sistemas cuando finalice el proyecto. La empresa local tendrá a su cargo la construcción de los componentes electromecánicos mas complejos de los equipos.
3. *Nanotecnología para Textiles Funcionales.* El objetivo de la Plataforma tecnológica es desarrollar textiles con nuevas funciones - por ejemplo repelencia al mosquito Aedes aegypti, vectores del dengue- mediante el empleo de herramientas nanotecnológicas.

²¹ Esta empresa fue creada en 1999 y forma parte de un Holding internacional, el Grupo Coppo (Italiano), dedicado a la fabricación de núcleos magnéticos de Acero Silicio de Grano Orientado y no Orientado.

²² INMEBA es una empresa Argentina que se consolida en el competitivo mercado internacional de los bienes de capital para la industria automotriz.

Participan dos Instituciones públicas: INTI-Textiles e INTI-Química y CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas- Instituto de Investigaciones en ciencia y tecnología de los Materiales (INTEMA) y una pyme, Guilford Argentina S.A y la Fundación PROTEGER. El INTI aplicará sus capacidades en tecnología del nano y microencapsulado, para dar funcionalidad para distintos sustratos textiles y condiciones de uso a escala laboratorio y piloto. La empresa que participa es una Pyme reconocida que exporta textiles inteligentes y se encargará de comercializar los productos textiles que incluyan la tecnología desarrollada en esta plataforma. La Fundación PROTEGER participará en la gestión de la transferencia de tecnologías y articulador de las distintas etapas de la cadena productiva con otras empresas textiles.

Como se puede inferir del caso de la política tecnológica en Argentina, la indefinición entre experiencias de políticas cerradas y desvinculadas del tejido productivo local y políticas inspiradas en mecanismos de mercado horizontales en las que no se articulaban las distintas etapas de las cadenas de valor innovativas, generó un retraso de 5 años en la efectiva implementación de una política tecnológica. Recién en el año 2010 se da un salto cualitativo en el aprendizaje institucional, a partir de la implementación de un instrumento de financiamiento sectorial a las tecnologías de punta orientado al desarrollo de consorcios, en los que el sector público es el principal coordinador y fuente de conocimientos para los desarrollos de punta. En este esquema institucional la política tecnológica logra conciliar las oportunidades que brinda el nuevo paradigma con la presencia de PyMEs nacionales, abriendo el juego de las nuevas tecnologías más allá de un grupo selecto de “campeones nacionales”.

6.- Oportunidades y desafíos para las políticas públicas de CyT

Partiendo de definiciones estratégicas acerca de las prioridades de desarrollo económico y social en el mediano y largo plazo, y de un enfoque sistémico de las articulaciones entre ciencia, tecnología e innovación que supere las visiones lineales de demanda o de oferta, dos factores interrelaciones parecen tener una fuerte incidencia en el ritmo y senderos potenciales de los desarrollo de la MB en países de iberoamérica.

- En primer lugar, el rol estratégico del sector público en la promoción de la Ciencia y tecnología: los grandes programas públicos “de frontera” y la formación de RRHH altamente capacitados. El estado jugó un rol central en los países industrializados en la difusión de la MB, y las NanoCyT, a través de programas y financiamiento públicos. En el caso de los desarrollos científicos asociados a la MB, por ejemplo, EEUU puso en marcha en el año 2008 un importante programa para la promoción de las industrias basadas en la biociencia. Como se ilustró en el punto 4, los países de Iberoamérica muestran un fuerte rezago en estos aspectos. Si bien la gran parte de los países puso en marcha iniciativas nacionales de apoyo a

Oportunidades y desafíos de la nanotecnología para los países en desarrollo: la experiencia reciente en América Latina. Proyecto “Potencialidades de la biotecnología para el desarrollo industrial en Argentina” CEUR-CONICET 21

la MB y a las NanoCyT en los últimos años, los bajos niveles de financiamiento a la I&D plantean serios desafíos para el desarrollo de actividades que se mueven en un contexto de alta incertidumbre y que requiere altos montos de inversión en I&D.

- En segundo lugar, la definición de un marco institucional que posibilite la articulación entre la oferta y la demanda tecnológica es uno de los grandes limitantes para el desarrollo de este tipo de tecnologías. Algunos autores (Niosi y Reid, 2008), plantean como estrategia, impulsar el patentamiento de empresas locales, para atraer capitales de riesgo del exterior. Esta opción, sin embargo, parece poco probable en el corto y mediano plazo, debido a que la mayor parte de los países de la región no cuenta con mercados de capitales desarrollados ni con una cantidad suficiente de proyectos. Alternativamente, un posible programa de promoción podría basarse en políticas selectivas de apoyo a proyectos de empresas locales líderes con fuertes encadenamientos locales²³. En aquellos países en los cuales la base empresaria es débil y no cuentan con grandes empresas estatales – como en México y Chile – varios gobiernos han optado por la inserción de sus grupos de investigación en redes globales de C y T, a partir de programas de cooperación internacional que, en la mayoría de los casos, han sido diseñados en los países desarrollados²⁴. Sin desconocer la importancia de los procesos de aprendizaje posibles, estas estrategias pueden generar efectos perversos de captación de cerebros y de apropiación de la innovación local. Es de destacar en este sentido la experiencia reciente de Argentina, que muestra que es posible desarrollar nuevos consorcios público-privados nacionales desvinculados de los grandes grupos favorecidos por las políticas tecnológicas de demanda, capaces de incorporar las nanotecnologías y rejuvenecer tramas tradicionales. En estas experiencias instituciones públicas como el INTI juega un rol central en la articulación de los nuevos núcleos dinamizadores del tejido productivo.
- En este sentido, es necesario promover la difusión de los nuevos paradigmas en áreas y sectores prioritarios a partir de incentivos que promuevan por un lado, la promoción de firmas especializadas, y por el otro la articulación de las mismas con las industrias de aplicación. Dada la importancia de los activos complementarios y los aprendizajes acumulados en las industrias de aplicación, resultan poco viables estrategias de inserción a través de nichos de mercado; por el contrario es necesario aprovechar economías de escala y de alcance (*scope*), ya sea a partir de iniciativas que impulsen la convergencia entre varias trayectorias tecnológicas, y/o impulsando la articulación con otras actividades en curso en países de Iberoamérica, como podría ser el caso de España, Brasil, Cuba y Argentina.

²³ En el caso de las Nanotecnologías, solo Brasil ha llevado adelante proyectos de este tipo, a partir del apoyo al proyecto de la empresa estatal Petrobras para el desarrollo de herramienta de perforación de alto rendimiento y de uso en condiciones de difícil acceso.

²⁴ Sin desconocer la importancia de los procesos de aprendizaje posibles, estas estrategias pueden generar efectos perversos de captación de cerebros y de apropiación de la innovación local.

Bibliografía

- Darby M, Zucker L. 2003. Grilichesian Breakthroughs: Inventions of Methods of Inventing and Firms Entry in Nanotechnology. NBER, Working Paper 9825
- Delgado, G. (2007) Sociología política de la nanotecnología en el hemisferio occidental: el caso de Estados Unidos, México, Brasil y Argentina” *Revista de Estudios Sociales* No. 27, agosto: Pp. 230. ISSN 0123-885X, Bogotá, Pp.164-181
- Gans, J.S., Hsu, D., Stern, S. (2002). When Does Start-Up Innovation Spur the Gale of Creative Destruction? *RAND Journal of Economics* 33, 571-586.
- Gans, J.S., Stern, S. (2003). The product market and the market for "ideas": commercialization strategies for technology entrepreneurs. *Research Policy* 32, 333-350.
- Hullman A. (2006) The economic development of nanotechnology. An indicators based analysis, *European Commission, DG Research*.
- Kay L., Shapira P. (2009) “Developing nanotechnology in Latin America”. *J Nanopart Res* 11:259–278
- Nordmann A. 2004. Converging technologies - Shaping the future of the European Societies, HLEG Foresighting the New Technology Wave,. EC: Brussels
- Shea CM. 2005. Future Management research Directions in nanotechnology: A Case Study. *Journal Engineering and Technology Management* 22: 185-200
- Bradley, J. (2008) “Nanotechnology State of the Markets in 2008: Stealth Success and Broad Impact” *Lux Research*, <http://nasatech.com/nano/2008/JBradley.pdf>
- Fiedler, M. & Welppe, I. (2006): “Cooperative Strategies of Small, Medium and Large Firms in the Commercialization of Nanotechnology”. In: Fueglistaller, U., Volery, Th., & Weber, W. (Eds.): *Understanding the Regulatory Climate for Entrepreneurship and SMEs. Papers presented to the Recontres de St-Gall 2006*, Swiss Research Institute of Small Business and Entrepreneurship at the University of St. Gallen, Verlag KMU HSG.
- Martinez J. (2008) “Nanotecnología: un sector estratégico en innovación y creación de valor” *Economía Exterior*, Núm. 44. Primavera.