

Nanotecnología en Chile ¿hacia una economía del conocimiento?

Guillermo Foladori¹
Verónica Fuentes²

Resumen

Las nanotecnologías están creciendo rápidamente a nivel mundial. Los países en desarrollo también se están incorporando a esta revolución tecnológica. Chile no es una excepción. El impulso a las nanotecnologías se inscribe dentro del paradigma del desarrollo por la vía de la incorporación a la economía del conocimiento. El Banco Mundial ha seleccionado a Chile para ser pionero en las Iniciativas Científicas Milenio, las cuales han financiado algunos proyectos de nanotecnología.

En este artículo analizamos el desarrollo de la nanotecnología en Chile en el marco del paradigma de la economía del conocimiento. Asimismo señalamos algunos flancos débiles de la política de Ciencia y Tecnología chilena en relación a las nanotecnologías.

Palabras clave: nanotecnología, Chile, política de C&T

Abstract

Nanotechnologies are growing rapidly over the World. Developing countries are also engaging in this technological revolution. Chile is not an exception. The impulse to nanotechnologies is part of the knowledge economy development paradigm. The World Bank has selected Chile to be pioneering in the Scientific Millennium Initiatives, which had funded some nanotechnology projects.

This article analyses the development of nanotechnology in Chile, within the framework of the knowledge economy paradigm. It also points out some weak aspects of the Science and Technology Chilean policy in relation to nanotechnologies.

Key words: nanotechnology, Chile, Science & Technology policy.

Introducción

Las nanotecnologías están creciendo rápidamente a nivel mundial. Los países en desarrollo también se están incorporando a esta revolución tecnológica. En América Latina Brasil, México y Argentina destacan; pero otros países hacen intentos por desarrollar las nanociencias y nanotecnologías. Chile tiene varios proyectos de investigación en, por lo menos, cinco universidades.

El impulso a las nanotecnologías se inscribe dentro del paradigma del desarrollo por la vía de la incorporación a la economía del conocimiento. El Banco Mundial, que también promueve este paradigma, ha seleccionado a Chile para ser pionero en las

¹ Uruguayo. Profesor del Doctorado en Estudios del Desarrollo, de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Miembro de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad www.estudiosdeldesarrollo.net/relans, y de la International Nanotechnology & Society Network. foia@estudiosdeldesarrollo.net.

² Chilena. Estudiante del Doctorado en Estudios del Desarrollo, de la Universidad Autónoma de Zacatecas. vero_fuentes_g@yahoo.es.

Iniciativas Científicas Milenio, las cuales han financiado algunos proyectos de nanotecnología.

En este artículo analizamos el desarrollo de la nanotecnología en Chile en el marco del paradigma de la economía del conocimiento, y, cuestionamos que un proceso focalizado en centros de excelencia sea sustentable. También mostramos algunas debilidades del avance de la nanotecnología en Chile.

1. El Banco Mundial apuesta a la sociedad del conocimiento en América latina

En América Latina el impulso a las nanotecnologías está asociado a la búsqueda de reorientar las economías para hacerlas menos dependientes de las exportaciones agropecuarias, minería y otros sectores ligados a los recursos naturales, y basarlas más en lo que hoy en día se conoce como economía del conocimiento. Este tránsito de las economías industriales a las del conocimiento se está dando en los países desarrollados, como los de la Unión Europea, también en USA y Japón. El indicador más general que se utiliza para medir la economía de conocimiento es el porcentaje de exportaciones de productos de alta tecnología —que se supone incorporan un alto componente de Investigación y Desarrollo (I&D) —. Los sectores que corresponden a este criterio son los aeroespaciales, computación, farmacéutico, instrumentos científicos y maquinaria eléctrica. Desde los años noventa los países desarrollados pasan a tener un porcentaje significativo de sus exportaciones en productos de alta tecnología. Para el 2004 Estados Unidos alcanza el 32% de sus exportaciones con productos de alta tecnología; Japón el 24%; Corea del Sur el 34%, e Irlanda el 34%. Mientras que en América Latina, Argentina tiene el 8%, Chile el 5%, Brasil el 12%, y México el 21% (World Bank, 2006a), aunque este último caso debe ser tomado con cautela, porque incluye buena parte de la producción de maquiladora donde el peso de las transacciones intra-firma con Estados Unidos es muy alta (Delgado & Invernizzi, 2005). Existen otros indicadores del grado de incorporación de un país a la economía del conocimiento, como el índice KAM (Knowledge Assessment Methodology) del Banco Mundial, que incluye variables como patentes, acceso a la educación, a las telecomunicaciones, ambiente institucional y otros. (World Bank, 2006b).

Durante los años ochenta, el Banco Mundial centró sus esfuerzos en la liberalización financiera. Cerró en esa década el departamento de ciencia, y suprimió el cargo de asesor científico. Pero, desde mediados de los noventa hubo un viraje, que daba un peso mayor a la investigación científica como motor del desarrollo (Masood, 1999). El informe del Banco Mundial de 1998-1999 lleva el subtítulo *Knowledge for Development*, y está dedicado a la brecha de conocimiento entre países ricos y pobres. Este cambio se fundamentaba en haber reconocido que la liberalización económica de los ochenta no había dado los resultados esperados, sino que había profundizado la brecha entre los países ricos y pobres, e incrementado la deuda externa. Inclusive, el Banco señaló que el régimen de patentes (aceptado por la Organización Mundial del Comercio en 1994)³ no había conseguido promover la investigación privada en áreas de gran impacto en el

³ Los aspectos relacionados al comercio de los derechos de propiedad intelectual (TRIPS en inglés) implican un régimen global que establece niveles mínimos de protección a la propiedad intelectual. También establece un sistema legal de acuerdos sobre disputas, y de sanciones para países que no cumplen la legislación.

desarrollo aunque de poco poder adquisitivo, como las llamadas “neglected diseases” o enfermedades de los pobres, (e.g. como en el caso de los fármacos contra la malaria). Según el Banco Mundial, en estos casos el sistema público debería subsidiar las investigaciones (*Nature*, 1988). El Banco también mostró preocupación por la extensión de los derechos de propiedad intelectual más allá de los productos, incluyendo resultados de la biotecnología (Butler, 1998). La propuesta del Banco para fines de los noventa será, entonces, la de incorporar los temas de innovación, ciencia y tecnología y transferencia de tecnología como objetivos para los países en desarrollo.

Esta orientación del desarrollo hacia una economía del conocimiento no era ni es un planteamiento exclusivo del Banco Mundial. En América Latina muchos países ya habían alzado la bandera de la economía del conocimiento como alternativa de desarrollo desde principios de los años noventa. La Unión Europea también promueve la economía del conocimiento. En Chile, por ejemplo, y paralelamente a los acuerdos del gobierno con el Banco Mundial, se firma un acuerdo en 2002 con la Unión Europea, cuyo objetivo es fomentar, desarrollar y facilitar actividades de I&D entre la Comunidad Europea y Chile, en los campos científicos y tecnológicos de interés común. Este convenio se articuló en un programa Marco, que identificó áreas prioritarias, y donde la nanotecnología aparece como uno de los focos de interés (SICID, 2002). A nivel del MERCOSUR, en 2006, se firma una declaración para promover un *Espacio Regional de Investigación en Ciencia, Tecnología e Innovación* (CONICYT, 2006 mayo).

Para encarar el desafío de impulsar economías del conocimiento en países en vías de desarrollo el Banco Mundial implementa la estrategia de crear núcleos de excelencia de investigación en dichos países. Desde finales de la década del noventa el Banco Mundial y varias otras instituciones crearon una cadena global de “Iniciativas Milenio”. Éstas serían centros de excelencia en los países en desarrollo, con el propósito de impulsar la investigación en Ciencia y Tecnología (C&T) en iguales condiciones de infraestructura y recursos que la que existe en los centros de investigación de los países desarrollados (Macilwain, 1998).

2. Nanotecnología y centros de excelencia en Chile

Las nanotecnologías constituyen un área tecnológica de rápido crecimiento a nivel mundial y asociado a las economías del conocimiento y al paradigma de la innovación.⁴ Las inversiones en nanotecnología crecen sostenidamente desde el año 2000, cuando los Estados Unidos lanzaron su millonario programa de investigación (National Nanotechnology Initiative), y muchos otros países del mundo lo siguieron. La empresa Lux Research (2006), que investiga en inversiones y comercialización de nanotecnología, estimó, para el año 2005, en 9,6 millardos de dólares las inversiones de I&D en esta área a nivel mundial. Fue precisamente en 2005 cuando, por primera vez, las inversiones privadas en I&D superaron a los fondos públicos, con tendencia a rebasarlos de allí en

⁴ En este artículo utilizaremos el término nanotecnologías en sentido amplio, abarcando también a las nanociencias. The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (RS&RAE) (2004) distingue así unas de otras: “Definimos las nanociencias como el estudio del fenómeno y manipulación de materiales a escalas atómica, molecular y macromolecular, donde las propiedades difieren significativamente de aquellas a escala mayor; y nanotecnologías como el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas por medio del control de la forma y el tamaño en la escala nanométrica” (Resumen, 2).

delante; lo cual indica que las corporaciones y empresas que trabajan en estos ramos consideran un hecho que sus investigaciones se van a transformar en mercancías que permitan recuperar el capital invertido. Aunque los productos con nanotecnología ocupan aún una porción ínfima del mercado mundial, Lux Research estima que en 2005 se vendieron 32 millardos de dólares, pero anota que esa cifra más que dobló la del año anterior; y prevé que para 2014 serán 2600 millardos de dólares.

En América Latina, Brasil, Argentina y México son los países donde las nanotecnologías están más desarrolladas (Foladori, 2006). Brasil impulsó, en 2001, una serie de redes temáticas en nanotecnología. En 2004 lanzó su Programa de Nanociencia y Nanotecnología, en el marco del Plan Pluri Anual de Desarrollo 2004-2007 (MCT, 2004a, 2004b). El gobierno de Argentina creó, en el 2005, la Fundación Argentina de Nanotecnología. En México, hay varios laboratorios de nanotecnología y se están estableciendo parques tecnológicos con fuerte aporte de nanotecnología (Foladori & Zayago, 2007).

El interés por la innovación tecnológica como instrumento de desarrollo en Chile queda plasmado con la actitud mostrada por el Gobierno desde principios de los noventa. Entre los años 1992 y 1995 se implementó el *Programa de Ciencia y Tecnología*, con apoyo del Banco Interamericano del Desarrollo. En los años siguientes se elaboró e impulsó el *Programa de Innovación Tecnológica* (1996-2000). Ambos programas conformaron los pilares de la política de innovación en el país, con miras a convertirlo en una economía del conocimiento. Estos dos programas fueron continuados, a partir del 2001, por *Chile Innova*, el Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica del Ministerio de Economía de Chile, extendiéndose hasta fines del 2005 (Chile Innova, 2006). El propósito era contribuir al aumento de la competitividad internacional, apoyando la innovación y el desarrollo tecnológico en áreas estratégicas. Para lograr esto último, *Chile Innova* definió cinco áreas en las cuales trabajar: Prospectiva Tecnológica, Tecnologías de Información y Comunicaciones, Biotecnología, Producción Limpia, y, Fomento a la calidad.

Durante el gobierno del Presidente Ricardo Lagos (2000-2006), el Banco Mundial financió siete proyectos en el país, por un total de US \$215 millones, destinados a seis ámbitos centrales, entre los que se encuentra el de *Tecnología e Innovación* (World Bank, 2006); y se ha puesto en marcha el *Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología (PBCT)* (2004-2010), una iniciativa de US \$100 millones financiada en partes iguales entre el Gobierno y el Banco Mundial, dividido en dos fases de tres años cada uno. El enfoque es explícitamente hacia una economía del conocimiento, como el mismo programa lo afirma: “El propósito del PBCT es *apoyar y conducir el proceso de transformación hacia una economía y sociedad basadas en el conocimiento*, a través de la inversión en ciencia y los ámbitos de innovación y su adecuada integración con el sector empresarial del país y las redes mundiales de producción científica y tecnológica” (CONICYT - Banco Mundial, s/f.a). Todo esto bajo el supuesto de que la Ciencia y Tecnología (C&T) permitirán al país mantenerse en niveles competitivos en el mundo (CONICYT, 2005).

En 1997, el CONICYT (Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología) inaugura sus Centros de Excelencia, mediante el Programa Fondo de Investigación Avanzada en Áreas Prioritarias (FONDAP). Estos centros, además de su nivel de excelencia deben contar con un programa de doctorado avalado por el CONICYT. El propósito es fomentar

la vinculación entre el sector científico y tecnológico con el empresarial. La idea es orientar la investigación a innovación de procesos y productos o servicios que tengan aplicación comercial, y, también, facilitar la transferencia de tecnología a las empresas (FONDAP, s/f). Se trata de una versión semejante a lo que un par de años después lanza el Ministerio de Planificación en asociación con el Banco Mundial con la Iniciativa Milenio, aunque ambos programas no están integrados. El FONDAP financia un programa que contempla investigación en nanotecnología, al crear, en 1999, el *Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de Materiales*, en la Universidad de Chile. El cuadro que sigue da cuenta de los llamados y los Centros creados por FONDAP.

Centros de Excelencia de FONDAP y presencia de la Nanotecnología

Fecha	Nombre del Instituto o Núcleo	Universidad sede
1997-1998	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de Modelamiento Matemático • Centro de Regulación Celular y Patología 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Chile • Pontificia Universidad Católica de Chile
1999	<ul style="list-style-type: none"> • Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de los Materiales (Con investigaciones en Nanotecnología) 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Chile
2001-2002	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur-Orienta • Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad • El Centro de Astrofísica • Centro de Estudios Moleculares de la Célula 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Concepción • Pontificia Universidad Católica de Chile • Universidad de Chile • Universidad de Chile

Fuente: elaboración propia a partir de Sabater Villalba, 2004.

En el Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de los Materiales de la Universidad de Chile, se realizan investigaciones en nanotecnología, orientadas a patentar innovaciones que puedan ser comercializadas, con especial énfasis en estudios del cobre (FONDAP, s/f). Entre 1999 y 2003, FONDAP canalizó 15,9 millones de pesos chilenos, mientras que en el mismo periodo la Iniciativa Milenio del Banco Mundial, que analizaremos más adelante, canalizó 18,4 millones de pesos chilenos (Contreras *et al*, 2006).

Otro programa del CONICYT, de financiamiento individual de investigaciones, el Fondecyt, también incluyó las nanotecnologías, y se estima que ya van más de 37 proyectos en esta área financiados, que beneficiaron a investigadores de seis universidades tradicionales y una privada (Fajardo. s/f).

La Iniciativa Científica Milenio (ICM), impulsada por el Banco Mundial, eligió a Chile como el prototipo que luego sería copiado en otros países.⁵ El gobierno de Chile creó en 1999 la Comisión Nacional de Iniciativas Científicas para el Milenio, con el propósito de fomentar las capacidades en investigación científica y en relación con el Banco Mundial (DORCH, 1999); y, a seguir, el Banco Mundial otorgó un préstamo de 5 millones de dólares para la primera etapa de dos años y medio, sumado a otros 10 millones de dólares de contrapartida nacional (ICM, s/f.a). Los objetivos de las Iniciativas Científicas Milenio (ICM) serían el

⁵ Venezuela, México y Brasil iniciaron posteriormente programas similares.

... fomentar las capacidades de investigación científica, aprovechando y estimulando los mejores talentos en el país, como factor clave del desarrollo socio-económico sustentable. El Programa contempla la formación de Centros de Excelencia científica dando origen a Institutos Científicos y Núcleos Científicos, bajo una modalidad competitiva y transparente. Estos centros estarán abocados a realizar investigación científica de frontera, a la formación de científicos, a la disseminación del nuevo conocimiento mediante programas de educación y extensión, y al establecimiento de vínculos con el sector productivo y asociaciones con otras instituciones (ICM, s/f.a).

En lugar de ajustar las líneas de investigación a los intereses de un plan o proyecto nacional de desarrollo, el programa buscaba identificar los talentos chilenos en el país y fuera de él, para impulsar la investigación en la dirección que ellos señalaran. Esta política científica, puede parecer elitista, pero está basada en la idea de que cualquiera que sea la dirección de la innovación, si esta implica mayor competitividad internacional garantizaría el desarrollo. Otros objetivos incluían la atracción de talentos del extranjero y evitar la fuga de cerebros. En su conjunto la propuesta del Banco Mundial, que Chile implementa como experiencia piloto, es *top-down*. Parte de los científicos más destacados, crea centros de excelencia para ellos y espera que con eso se establezcan alianzas con la iniciativa privada y con la innovación productiva. Aunque el espíritu de la propuesta se basa en crear las condiciones para que los investigadores se queden en casa y no migren, es bien discutible si esto puede ser logrado en islas de excelencia con presupuestos de corto y mediano plazo y sin una reforma educativa desde la educación primaria o elemental que alimente y permita reproducir, en el largo plazo, una trayectoria de innovación tecnológica. Estas islas de excelencia deberían sobrevivir en un país donde sólo el 0,7% del Producto Interno Bruto se destina a la I&D; un guarismo muy reducido, sólo algunas décimas por arriba del mexicano e inferior al venezolano y brasileño en el contexto latinoamericano, pero claramente inferior al de los países desarrollados y aquellos que han “despegado” a la innovación en las últimas décadas,

Para el 2004, Chile invertía un 0,68% del PIB en I+D, a diferencia del 2,4% que invertía Corea del Sur cuando tenía un nivel de ingreso *per cápita* similar al que tuvo Chile. O el de Irlanda, que era de 1,3% del PIB, o el de Eslovenia, de 1,4%. A su vez, comparado con países de alto desarrollo, las diferencias son aún mayores: Israel encabeza la lista de las naciones que más invierten en I+D con un 4,9% del PIB, seguido por Suecia con 4%, Finlandia con 3,5% y USA con 2,6%. Como conclusión, con excepción de Hong Kong, todos los países igual o más desarrollados que Chile presentan un nivel de inversión en I+D, como fracción de su PIB, superior al de nuestro país y, aún más, ya lo presentaban cuando su desarrollo era similar al nuestro (CNIC, 2007).

Pero, la escasa infraestructura material y humana para la I&D en Chile son tanto la debilidad como la justificativa para impulsar las Iniciativas Milenio.

El primer llamado de la ICM aprobó la creación de tres Institutos y cinco Núcleos. Uno de estos núcleos estaba orientado a la investigación en nanotecnología (Física de Materia Condensada), con sede en la Universidad Técnica Federico Santa María (ICM, s/f.a). En el segundo llamado se formaron otros cinco nuevos núcleos de investigación, ninguno de ellos orientado a las nanotecnologías. El tercer llamado, realizado en 2002 y aprobado en 2003, seleccionó un nuevo proyecto de nanotecnología, con sede en la Universidad Andrés Bello (Ciencia de materiales y nanotecnología, fisicoquímica orgánica y teoría de funcionales de la densidad); y extendió por otros tres años el de Física de la Materia Condensada (ICM s/f.b). El cuadro que sigue resume las iniciativas cronológicamente, destacando aquellas dirigidas a las nanotecnologías.

Iniciativa Científica Milenio. Chile 1999 -2006 ⁶

Fecha inicio	Número de institutos núcleos fundados	Nombre del Instituto o Núcleo	Universidad sede
1999	3 Institutes 5 Nuclei	• Física de Materia Condensada (Núcleo)	• Universidad Técnica Federico Santa María
2001	5 Nuclei	-----	-----
2002	3 Institutes	• Mecánica cuántica aplicada y química computacional (núcleo)	• U. Andrés Bello
2003	3 Institutes 8 Nuclei	• Física de Materia Condensada (Núcleo - renovado)	• U. Técnica Federico Santa María
2004	3 Institutes 12 Nuclei	-----	-----
2005	3 Institutes 15 Nuclei	-----	-----
2006 (incremento con fondos de “Ley royalty”) ⁷	5 Institutes 17 Nuclei	-----	-----

Fuente: ICM, 2006; ICM s/f.a; ICM s/f.b).

Las ICM sólo apoyaron marginalmente las nanotecnologías, orientándose más hacia la biología y biotecnología, áreas en que Chile tiene una mayor tradición (aunque es posible que bajo biotecnología existan proyectos de nanobiotecnología no contemplados en el cuadro arriba). Sin embargo, ese tímido apoyo con dos proyectos de nanotecnología que abarcaron 9 años de financiamiento (considerando la renovación de uno de ellos), constituyó un apoyo importante, dado el escaso desarrollo de las nanotecnologías en Chile. Pero, aunque el espíritu de la ICM era crear Institutos y Núcleos de investigación con recursos competitivos con los países desarrollados, en la práctica, estos proyectos financiados tuvieron un presupuesto medio de 290 mil dólares por tres años, con la posibilidad de una sola renovación, lo cual debilitó su sustentabilidad en el tiempo (Angel, 2003). Algunos fondos extras, provenientes de la ley de “Royalty”, aprobada en 2006, que constituye un impuesto a la explotación de los recursos naturales destinados a la innovación científica, permitirá incrementar algunos núcleos de investigación y proyectos,⁸ pero los recursos son claramente pobres en relación a la economía del país, como lo señala el economista chileno y miembro del consejo de la Iniciativa Milenio Ffrench Davis (2006).

⁶ La información sobre proyectos de nanotecnología es aproximada. El criterio empleado fue utilizar las siguientes palabras clave en el título o en la descripción del proyecto: nanotecnología, nanociencia o nanoscópico.

⁷ Los aportes derivados de la ley “Royalty” para el fomento de la innovación y la competitividad aumentaron en un 100% para el 2007. Esto permitirá financiar el funcionamiento de 5 institutos y 17 núcleos de investigación científica en todo el país (MIDEPLAN, 2006).

⁸ Para administrar y orientar los recursos provenientes de la Ley de Royalty fue creando el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad. El propio nombre refleja el interés supremo de la orientación de la C&T en Chile: la competitividad internacional. Queda por explicar cómo aún con un potencial incremento de la competitividad podría el país desarrollarse, si entendemos pro desarrollo reducir la pobreza y la inequidad.

Como parte del Programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología, un acuerdo del Banco Mundial y el CONICYT, se financian por tres años los “Anillos de Investigación en Ciencia y Tecnología”, que son redes de investigación entre universidades y centros de investigación. Se realizaron concursos durante 2004, 2005 y 2006. Sólo en 2006 algunos anillos relacionados con nanotecnología son aprobados, como se explicita en el cuadro siguiente.

“Anillos” orientados a la nanotecnología y aprobados por el Programa Bicentenario de C&T. Chile, 2006

Universidad Proyectos aprobados en 2006	Nombre del anillo	Universidad asociada
U. de Chile	Simulación Computacional Molecular de Nanomateriales y Sistemas Biológicos de Interés Experimental	Universidad de Talca
U. de Santiago de Chile	Magnetismo: de la Nanoescala a la Macroescala	Univ. Técnica Federico Santa María Universidad de la Frontera. Pontificia Pontificia Univ. Católica de Chile
U. Técnica Federico Santa María	Estudio Multidisciplinario de Nanoestructuras Híbridas	Universidad de Valparaíso.
U. Técnica Federico Santa María	Centro de Estudios Subatómicos	Pontificia Univ. Católica de Chile Universidad Austral de Chile

Fuente: CONICYT – Banco Mundial, s/f.b.

También en el marco del Programa Bicentenario de C&T se implementaron “Talleres de Articulación” para divulgar y motivar a los académicos y estudiantes en temas de tecnología e innovación relevantes. A fines de 2005 fueron seleccionados dos talleres en el área de nanotecnología. El primero fue organizado, en mayo de 2006, por la Universidad Técnica Federico Santa María y en colaboración con varias otras universidades (CONICYT – Banco Mundial, s/f c). El segundo fue organizado por la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Santiago de Chile, y la participación de varias otras, en octubre de 2006 (CONICYT – Banco Mundial, s/f d).

3. Áreas de investigación de nanotecnología en Chile

Zumelzu (2006) hace una revisión de las investigaciones en curso en nanotecnología en Chile. Identifica investigaciones en 6 instituciones. En la Universidad de Chile, en la Universidad Técnica Federico Santa María; en la Pontificia Universidad Católica de Chile, y en la Universidad de Santiago de Chile. El cuadro que sigue ofrece un resumen con adiciones de otras fuentes, mencionando los temas de investigación y los principales financiamientos.

Grupos de investigación en nanotecnología y principales temas de investigación. Chile

Universidades	Temas	Fondo
Universidad Técnica Federico Santa María. Red con varias otras universidades	<ul style="list-style-type: none"> Física de material condensada. (Magnetismo en bajas dimensiones, relajamiento y anisotropía). 	ICM (1999-2005)
Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de los Materiales. Universidad de Chile.	<ul style="list-style-type: none"> Materiales cuánticos para producir: efectos confinados detectables en las propiedades iónica, electrónica y fotónica. Caracterización de superficie y preparación de óxido de nanopolvos deficientes en oxígeno mediante condensación en hidrógeno. Películas delgadas trabajando sobre la influencia de la dispersión superficial de electrones sobre los mecanismos de transporte de carga en las películas delgadas rodeadas de superficies rugosas. Producción de nanopartículas de cobre para la elaboración de polímeros de conductividad eléctrica. Nanopartículas de magnetos para combatir el cáncer y el Alzheimer. 	FONDA AP 1999...
Pontificia Universidad Católica de Chile	<ul style="list-style-type: none"> Conductividad eléctrica en películas delgadas de cobre y de paladio oxidadas con plasma de oxígeno Sesgo de intercambio magnético 	FONDECYT
Universidad de Santiago de Chile	<ul style="list-style-type: none"> Evolución nanocrystalina microestructural que tiene lugar durante los procesos de aleación mecánica y consolidación de polvos con cobre como base. Fenómenos y procesos de transporte de fluidos de micro y nano escalas en sistemas energéticos no convencionales Transporte de micro y nano partículas en dispositivos y sistemas biológicos Transporte de fluidos y calor en enfriamiento microelectrónica y nanodispositivos. Transporte y caracterización de fluidos en arterias y aneurismas cerebrales. Caracterización de nano fluidos en la interfase entre la superficie de un disco duro y el cabezal de lectura escritura de un sistema de almacenamiento de alta velocidad. Nanofluidos y transferencia de calor a escala nanométrica, órganos artificiales, y teoría del caos en mecánica de fluidos. 	
Universidad de Concepción	<ul style="list-style-type: none"> Polímeros y compuestos avanzados, tales como la producción de nanopartículas de cobre por electrodeposición para la industria y con una aplicación en el campo de la energía; la creación de nuevas superficies nanoestructuradas basadas en membranas celulares y sus efectos biológicos y químicos; partículas nanocoloidales; y la preparación y estudio de las propiedades de nuevos materiales. Síntesis y aplicación de compuestos orgánicos, es decir, matrices macromoleculares anisotrópicas incluyendo nanopartículas metálicas. 	

Fuente: tomado de Zumelzu (2006) con adiciones de Correa (2005), CONICYT (2005, marzo); Universidad de Santiago (2007), y datos propios.

Pero, esta diversidad de instituciones y proyectos no significa que existan muchos investigadores trabajando en nanotecnología. Guzman (en Rojas, 2006) estima el total de investigadores en 15. Aunque el dato esté algo subestimado y estén faltando algunos de

los que trabajan en nanobiotecnología, el hecho es que el grupo de investigadores en nanotecnología en Chile es muy reducido.

Sorprende la falta de información sobre posibles proyectos de riesgo de las nanotecnologías, como también de sus eventuales impactos económicos y sociales. Esto último es por demás importante si se considera que más del 80% de la investigación chilena se realiza en instituciones públicas. Las ciencias sociales parecen estar ausentes de la discusión de la nanotecnología en Chile.⁹

3. El lado oculto de la nanotecnología en Chile: la presencia militar norteamericana

Otra vertiente de las investigaciones en nanotecnología en Chile es la presencia militar estadounidense. El interés militar estadounidense por el desarrollo de la C&T en América Latina es explícito; y a pesar que mucha de la información sobre recursos financieros y humanos en C&T en América Latina están disponibles en línea en la Internet, los contactos directos siempre establecen lazos personales que facilitan futuras colaboraciones. Por ello en abril de 2004, la Marina y Fuerza Aérea estadounidenses realizaron un forum en Washington D.C., llamado *Latin America Science & Technology Forum*, con el explícito propósito de “incrementar el liderazgo de E.U.A en el conocimiento del progreso de la C&T en América” (ONRG, 2004a). Altos representantes de las instituciones civiles de Ciencia y Tecnología de Argentina (vice-director de CONICET), de Chile (Director de FONDEF-CONICYT) y de México (Director de Investigaciones Científicas del CONACYT) presentaron el estado de avance de la C&T en sus respectivos países; como si fuese el papel de estas instituciones civiles informar al ejército estadounidense del estado de la C&T latinoamericana de vanguardia. Estos contactos de colaboración se complementan con las visitas oficiales a los países de América Latina. A fines de marzo de 2002 el Director Asociado del Área Internacional de la Oficina de Investigación Naval de la Armada de los Estados Unidos visitó la Universidad de Concepción en Chile, con el propósito de detectar las áreas de investigación que podrían ser incorporadas a un eventual programa de cooperación científica (Panorama en Internet, 2002).

Las fuerzas armadas estadounidenses tienen al menos 3 ramas que financian investigación científica (incluyendo nanotecnología) en universidades públicas y privadas y centros de investigación de muchos países: el ejército, la marina y la fuerza aérea (Army, Navy, and Air Force).¹⁰ Estos tres brazos trabajan conjuntamente en C&T en el mundo en los llamados Centros Internacionales de Tecnología (International Technology Centres). Para fines organizativos existen el ITC-Atlantic, con sede en Londres y cobertura para Europa, África, y parte de Asia, incluyendo el área de la ex Unión Soviética; el ITC-Pacific, con sede en Tokio y cobertura para el resto de Asia y cono sur

⁹ No obstante la falta de análisis social y económico, como también de potenciales riesgos de estas tecnologías, hay un proyecto de ley presentado en 2006 de moratoria a la importación y fabricación de nanoproductos (Navarro, 2006).

¹⁰ En 1940, justo antes de que los Estados Unidos entraran en la Segunda Guerra Mundial, el presidente Franklin Roosevelt creó la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo (OSRD por sus siglas en inglés) para que la industria orientara sus esfuerzos de investigación al armamento y requerimientos militares. Tradicionalmente el sistema militar demandaba ingeniería y producción, pero no investigación básica. De manera que la OSRD fue la primera que se encargó de investigación básica. Esta relación entre C&T e intereses militares quedó así clara por primera vez en la historia de los Estados Unidos (White, 2002).

de África.

En 2004, se funda el ITC-Américas en Santiago de Chile, con cobertura para toda América y el Caribe, incluyendo Canadá (U.S. Army ITC-Atlantic, s/f b). Al igual que en el resto de las sedes regionales, la intención del ITC-Américas con sede en Santiago de Chile es:

... impulsar las relaciones cooperativas entre el Ejército de los Estados Unidos y el sector privado, universidad y centros de I&D civiles y gubernamentales que resulten en una cooperación científica y tecnológica de punta que beneficie las instituciones civiles y apoye los actuales programas del ejército de los Estados Unidos y sus futuros objetivos (International Division U.S. Army Research, Development and Engineering Command, 2004).

El apoyo directo a las investigaciones en nanotecnología en América Latina no llegó atrasado. La página Web de la Marina (Navy), por ejemplo, señala que desde 2004 está financiando un proyecto con el Centro Atómico Bariloche de la Argentina, y en colaboración con la University of Michigan, la Brown University, y el Naval Research Laboratory; y otro que comenzó el mismo año con la Universidade de São Paulo, en Brasil (ONRG, 2004b). Pero, para financiar hay que conocer a los científicos que pueden ser de interés para el ejército estadounidense, de manera que la Marina (Navy) en asociación con la Fuerza Aérea (Air Force) realizaron tres seminarios internacionales en América Latina (workshops) sobre uno de los principales temas de interés del Departamento de Defensa de los Estados Unidos: los materiales multifuncionales (NMAB, capítulo 3, 2003). Materiales multifuncionales son materiales que reúnen la doble propiedad de desarrollar funciones de integridad estructural (durabilidad, sobrevivencia, seguridad) y al mismo tiempo funciones eléctricas, magnéticas, ópticas, térmicas, biológicas, etc. La base de estos nuevos materiales es la micro y nanotecnología, y es uno de los intereses básicos de la I&D en América Latina, tanto de la Armada como de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (AFOSR, 2005a).

La multifuncionalidad implica el ensamble entre el desempeño estructural y otras funciones que se demanden como eléctricas, magnéticas, ópticas, térmicas, biológicas, y demás. La integridad estructural incluye durabilidad, sobrevivencia, fiabilidad y mantenimiento. Este programa se centra en el desarrollo y la aplicación de principios mecánicos multifuncionales y metodología diseñada basada en la física, química, biología e inteligencia artificial, para modelar y caracterizar el proceso y desempeño de sistemas y dispositivos de materiales multifuncionales a múltiples escalas (AFOSR, 2005b).

Los seminarios fueron organizados por latinoamericanos que trabajan en universidades de Estados Unidos y otros estadounidenses, facilitando así el contacto con paisanos de América Latina. Aunque la mayor cantidad de participantes fueron de Estados Unidos, la presencia de investigadores de América Latina fue creciendo con la sucesión de los seminarios. El primero fue realizado en Pucón, Chile, en octubre de 2002, y de los 44 participantes hubo 3 de Argentina (Centro Atómico Bariloche y Universidad de Buenos Aires), 2 de Brasil (Laboratório Nacional de Luz Sincrotrón y Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro), 1 de México (Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados del Instituto Politécnico Nacional), y, 3 de Chile (Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad Técnica Federico Santa María); es decir, 9 de América Latina. El segundo seminario fue realizado en Huatulco, México, en octubre de 2004; y de los 35 participantes 12 fueron de Latinoamérica; 5 de Argentina (CAB, UBA, Centro Atómico Constituyentes y Comisión Nacional de Energía Atómica), 1 de Brasil (LNLS), 3 de México (CINVESTAV-IPN, Universidad Nacional Autónoma de México), 2 de Chile (PUC-Chile y UTFSM), y 1 de la Universidad del Valle de Colombia. El tercer

seminario fue realizado en marzo de 2006 en Bariloche, Argentina. Allí se reunieron 35 científicos, 6 de Argentina (CAB, CNEA, CAC, y UBA), 3 de Brasil (LNLS, Universidade Estadual de Campinas-Física, y Universidade Federal da Bahia), 2 o 3 de México (CINVESTAV-IPN y con invitación sin confirmar la asistencia del Instituto Potosino de Investigaciones en Ciencia y Tecnología¹¹), y 1 de la Universidad de Chile (ONR, 2002, 2004, 2006; U.S. Embassy Chile, s/f; Ulloa, 2004). Es decir que de menos de un cuarto en la primera reunión pasaron los latinoamericanos a ser aproximadamente un tercio en los subsiguientes encuentros, y la presencia de chilenos se mantuvo en todos los encuentros.

La presencia militar estadounidense en la investigación de nanotecnología en América Latina no se reduce a las instituciones militares de C&T. Acuerdos más generales cobijan la posibilidad de futuras investigaciones, como es el caso de la firma por el gobierno mexicano, en 2005, del tratado *Security and Prosperity Partnership of North America* (SPPNA) con Estados Unidos y Canadá. El tratado incluye la colaboración científica en I&D en áreas como biotecnología y nanotecnología, bajo un marco directamente influenciado por los sectores militares (SPPNA, 2005). Tampoco se reduce a la relación del sector civil con el militar de los Estados Unidos, sino que los propios ejércitos latinoamericanos discuten las posibilidades de la C&T para sus fines, como ocurrió en la ciudad de Buenos Aires, en junio de 2006, donde expertos representaron los ejércitos de Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Ecuador, El Salvador, México, Guatemala, Nicaragua, Paraguay, Perú, Uruguay, República Dominicana y Venezuela, en la conferencia titulada *The Contribution of Science and Technology to support Peace Keeping Operations and Disaster Relief Operation in Catastrophes*, y cuyas expectativas van más allá de lo que el título indica, como cuando recomiendan futuros encuentros anuales para discutir temas como: “Aplicación de tecnologías no-letales para el control de muchedumbres; purificación y distribución de agua, generación de electricidad, preservación de alimento”(USARSO, 2006).

Reflexiones finales

La nanotecnología es un área científica de rápido crecimiento a nivel mundial. Muchos la consideran la base de la próxima revolución industrial que ya está iniciando. Es posible que en pocos años ningún país pueda escapar a investigar y desarrollar las nanotecnologías. Actualmente los países defienden la inversión de fondos públicos para el desarrollo de la nanotecnología en base a la potencial mejoría que pudiera brindar en la competitividad internacional. Este es, también, el caso de Chile.

No obstante las buenas intenciones existen varios aspectos que deben ser abordados y no parecen estar siendo considerados en el caso chileno. Entre estos aspectos destacan los riesgos a la salud y el medio ambiente. Es sabido que el pequeño tamaño de las nanopartículas y nanodispositivos hace que sean mucho más reactivos y móviles, por tener una proporción de superficie expuesta mayor y por su tamaño. En un artículo de la revista británica *Nature*, de noviembre del 2006, catorce investigadores líderes en toxicología llamaban la atención sobre los potenciales riesgos de las nanopartículas, advirtiendo sobre la necesidad de tomar en cuenta el área de superficie, la química de

¹¹ En este caso las dos fuentes consultadas no coinciden.

superficie, la solubilidad y, posiblemente, la forma. Todas estas dimensiones juegan un papel determinante en el potencial de toxicidad de las nanopartículas, y no son consideradas en los exámenes regulares para macropartículas; con lo cual existen riesgos de toxicidad nuevos (Maynard, et al, 2006, 267).

Otra área de preocupación que no está siendo abordada en el caso chileno es el impacto que la comercialización de productos con nanocomponentes podría causar en la división internacional del trabajo, lo cual también implicará afectar significativamente a las clases trabajadoras. Por un lado, porque la multiplicación de funciones que pasan a realizar los productos de la nanotecnología reduce significativamente la cantidad de fuerza de trabajo necesaria, tanto al interior del proceso productivo, como también en la manipulación, almacenamiento, transporte y comercialización de antiguos productos que desaparecen del mercado. Por otro lado, porque la menor dependencia de las contingencias ambientales y de los recursos naturales hace previsible un cambio en la localización geográfica de las industrias, con el consecuente desplazamiento de fuerza de trabajo y migración laboral.

Otra importante área de preocupación ajena a la discusión chilena es el de la reglamentación y patentes. Es conocida la dificultad de reglamentar productos con nanocomponentes y también la confusión reinante en cuanto a las patentes. Todo ello porque estos productos no se encajan en las reglamentaciones existentes. En los Estados Unidos los juicios por superposición de patentes en nanotecnología crecen exponencialmente. Además está la cuestión de los acuerdos comerciales internacionales. Prácticamente todos ellos incluyen cláusulas relativas a la propiedad intelectual, y poco se ha investigado acerca de los beneficiarios y trabas que estos convenios significan en relación a las patentes (Chimuris & Galindo, 2007). Aunque la justificativa de destinar fondos públicos para la investigación está en la potencial ventaja en la competitividad internacional, el hecho es que el proceso internacional de centralización de empresas productoras de nanomateriales y de las patentes ya está hegemonizado por las grandes corporaciones multinacionales (Científica, 2007). Los países en desarrollo deben estudiar con cautela su papel en la división internacional del trabajo que se va a consolidar como consecuencia de la revolución de las nanotecnologías.

Referencias

- AFOSR (Air Force Office of Scientific Research). (2005a). AFOSR Research Interests for Latin America.
[http://www.prp.rei.unicamp.br/portal/mensagens/2005%20AFOSR%20Latin%20American%20Research%](http://www.prp.rei.unicamp.br/portal/mensagens/2005%20AFOSR%20Latin%20American%20Research%20) Consultado octubre 2, 2006.
- AFOSR (Air Force Office of Scientific Research). (2005b). Mechanics of Multifunctional Materials & Microsystems.
http://72.14.209.104/search?q=cache:dX8hvoXHijoJ:www.afosr.af.mil/Documents/research_BAA2006Amd1.pdf+www.tokyo.afosr.af.mil/&hl=es&ct=clnk&cd=3 Consultado septiembre 14, 2006.
- Angel V., Eliette (2003). Iniciativa Científica Milenio. Química y neurociencia no tienen fondos. *El Mercurio*, September 29, 2003. <http://www.ceo.cl/609/printer-48524.html> Consultado mayo 22, 2007.
- Butler, Declan (1998). World Bank calls for a fairer deal on patents and knowledge. *Nature*, 395, 529.

- Chile Innova. Programa de desarrollo e innovación tecnológica. 2001-2006. (s/f).
http://www.innovacion.cl/biblioteca/documento/Innovar_en_Chile_2001_2006.pdf
 Consultado octubre 15, 2006.
- Chimuris, Ramiro & Garrido Luzardo, Lydia (2007). El control extranjero de las nanotecnologías mediante los derechos de propiedad. El caso de Uruguay. Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad.
www.estudiosdeldesarrollo.net/relans
- Científica (2007). Half Way to the Trillion-Dollar Market? A Critical Review of the Diffusion of Nanotechnologies.
http://www.cientifica.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=68&Itemid=111 Consultado abril 24, 2007.
- CNIC (Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad). (2007). *Hacia una Estrategia Nacional de Innovación para la Competitividad*. www.fundcopec-uc.cl/.../66/Hacia%20una%20estrategia%20de%20innovación%20para%20la%20competitividad.pdf Consultado mayo 22, 2007.
- CONICYT - Banco Mundial (s/f.a). Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología.
<http://www.conicyt.cl/bancomundial/acerca/presentacion.html>. Consultado octubre 3, 2006.
- CONICYT – Banco Mundial (s/f.b). II Concurso de Anillos de Investigación en Ciencia y Tecnología 2006.
http://www.conicyt.cl/bancomundial/resultados/2006/adjudicacion_Anillos2.pdf
 Consultado Mayo 28, 2007.
- CONICYT – Banco Mundial (s/f.c). Primer Taller Nacional de Nanotecnología.
<http://www.nano-tecnologia.cl/nano1t/html/home.htm> Consultado septiembre 9, 2006.
- CONICYT – Banco Mundial (s/f.d). Segundo Taller Nacional de Nanotecnología.
<http://www.nano-tecnologia.cl/nano2t/html/home.php>. Consultado septiembre 25, 2006.
- CONICYT (Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología). (2005, julio). Queremos hacer de Chile una economía basada en el conocimiento. Entrevista a Roberto Hojman.
http://www.conicyt.cl/dossier/2005/PBCT_espe/html/Roberto_Hojman.html.
 Consultado octubre 15, 2006.
- CONICYT (Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología). (2005, marzo). Investigación de científicos chilenos.
http://www.conicyt.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=1496&Itemid=0 Consultado octubre 8, 2006.
- CONICYT (Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología). (2006, Mayo 31). Chile firma Declaración de Buenos Aires del MERCOSUR y estados asociados. Revisado en http://www.conicyt.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=1792&Itemid=0 (octubre 8, 2006)
- Contreras, Claudia; Edwards, Gonzalo & Mizala, Alejandra (2006). La Productividad Científica de Economía y Administración en Chile. Un Análisis Comparativo. *Cuadernos de Economía*, 43, 331-354.
- Correa, Catalina (2005). Proyectos de las Universidades Chilenas. Chile a la Vanguardia de la Investigación Tecnológica. *El Mercurio* (Edición Especial), Marzo 31, 2005.

- Delgado Wise, Raúl & Invernizzi, Noela (2002). México y Corea del Sur: Claroscuros del crecimiento exportador en el contexto del globalismo neoliberal. *Aportes, Revista Mexicana de Estudios sobre la Cuenca del Pacífico*, II, 2, 4, 63-86.
- DORCH (Diario Oficial de la República de Chile) (1999). Decreto No. 151. Julio 27, 1999. P.4 (7308). Ministerio de Planificación y Cooperación. Crea Comisión Nacional de Iniciativas Científicas para el Milenio.
- Fajardo, Daniel. (n/f). Científicos encuentran un "nano" objetivo común. *Ediciones especiales de El Mercurio*. Revisado en <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0127072006021X1060022&idcuerpo> Consultado septiembre 24, 2006.
- Ffrench-Davis, Ricardo. (2005 Septiembre). Entrevista a Ricardo Ffrench-Davis. *Boletín de la Academia Chilena de Ciencias*. <http://www.academia-ciencias.cl/index.php?module=boletin&boletin=57&task=boletin&page=2> Consultado mayo 19, 2007.
- Foladori, G.; Zayago, E. (2007). Tracking Nanotechnology in México. *Nanotechnology Law & Business Journal*, 4(2), 211-222.
- Foladori, Guillermo (2006). Nanotechnology in Latin America in the Crossroad. *Nanotechnology Law & Business Journal* 3(2), 205-216.
- FONDAP (Fondo de Financiamiento de Centros de Excelencia en Investigación) (s/f). Programa Fondo de Financiamiento de Centros de Excelencia en Investigación http://www.conicyt.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=52 Consultado mayo 20, 2007.
- ICM (Iniciativa Científica Milenio) (s/f.a). *Iniciativa Científica Milenio. Memoria Bianual 1999-2000*. Santiago: MIDEPLAN. http://www.mideplan.cl/milenio/files/MEMORIA_ICM_2001_2002_0.pdf Consultado mayo 12, 2007.
- ICM (Iniciativa Científica Milenio). (s/f.b). *Iniciativa Científica Milenio. Memoria Bianual 2001-2002*. Santiago: MIDEPLAN. http://www.mideplan.cl/milenio/files/MEMORIA_ICM_2001_2002_0.pdf Consultado mayo 12, 2007.
- ICM. (2006). Memoria Trienal 2003-2005. www.mideplan.cl/milenio/?q=node/113 Consultado mayo 12, 2007.
- International Division U.S. Army Research, Development and Engineering Command (2004 November). U.S. Army International Technology Center of the Americas Opens in Santiago. *REDECOM, Magazine*. www.redecom.army.mil/rdmagazine200411/part_ITC.html Consultado octubre 6, 2006
- Lux Research (2006). *The Nanotech Report*, 4th Edition. New York: Lux Research Inc.
- Macilwain, Colin (1998). World Bank backs Third World centres of excellence plan. *Nature*, 396, 711, 24-31.
- Masood, Ehsan (1999). El Banco Mundial invierte en una base científica global. *Nature*, 397, 6-7.
- Maynard, Andrew D.; Aitken, Robert J.; Butz, Tilman; Colvin, Vicki; Donaldson, Ken; Oberdörster, Günter; Philbert, Martin A.; Ryan, John; Seaton, Anthony; Stone,

- Vicki; Tinkle, Sally S.; Tran, Lang; Walker Nigel J. & Warheit, David B. (2006 November). Safe handling of nanotechnology. *Nature*, 444, 16.
- MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). (2004a) O Programa de Nanotecnologia. <http://www.mct.gov.br/Temas/Nano/programanano.htm> Consultado enero 05, 2006.
- MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). (2004b). Portaria MCT nº 614, de 1º.12.2004. www.mct.gov.br/legis/portarias/614_2004.htm Consultado octubre October 10, 2005.
- Mideplan (2006). Programa Iniciativa Científica Milenio aprobó propuesta de distribución presupuestaria para 2007 <http://www.mideplan.cl/final/noticia.php?regid=&idnot=1083> 16/11/2006. Consultado mayo 20, 2007.
- Nature (1998). Urgent thinking required about development. *Nature*, 395, 6702, 527.
- Navarro, Alejandro (2006). Proyecto de ley que prohíbe y sanciona la importación y fabricación en Chile de productos nanotecnológicos. <http://noticias.123.cl/entel123/html/Tele13/Noticias/Chile/302355.html> Consultado Marzo 30, 2007
- NMAB (National Materials Advisory Board). (2003). *Materials Research to Meet 21st Century Defense Needs*. Washington D.C.: The National Academies Press.
- ONR (Office of Naval Research). (2002). ONR International Workshop on Multifunctional Materials. <http://www.phy.ohiou.edu/~isfmm/index2002>. Consultado septiembre 25, 2006.
- ONR (Office of Naval Research). (2004). ONR International Workshop on Multifunctional Materials II. <http://www.phy.ohiou.edu/~isfmm/index2004> Consultado septiembre 25, 2006.
- ONR (Office of Naval Research). (2006). ONR International Workshop on Multifunctional Materials III. <http://www.phy.ohiou.edu/~isfmm> Consultado septiembre 25, 2006.
- ONRG (Office of Naval Research Global). (2004a). *Regional Offices. Latin America*. Forum www.onrglobal.navy.mil/scitech/regional/latin_america_forum.asp Consultado octubre 07, 2006
- ONRG (Office of Naval Research Global). (2004b). *Regional Offices. Latin America*. Programs http://www.onrglobal.navy.mil/scitech/regional/latin_america_programs.asp Consultado octubre 07, 2006
- Panorama en Internet (2002). Armada norteamericana explora formas de colaboración con universitarios. Universidad de Concepción www2.udec.cl/panorama/p439/p13.htm Consultado octubre 13, 2006.
- Rojas, Marcela (2006). Primeros pasos. Nanotecnología en Chile. Revista del Colegio de Ingenieros. Santiago. http://www.nano-tecnologia.cl/nano2t/html/docs/revista_colegio_de_ingenieros-1.pdf Consultado junio 2, 2007.
- RS&RAE (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering). (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. London: The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. www.royalsoc.ac.uk/policy y www.raeng.org.uk Consultado octubre 16, 2006.

- Sabater Villalba, Albina (2004 Abril 22). FONDAP. Los Centros de Excelencia. Conicyt
<http://www.conicyt.cl/dossier/2004/ciencia-emol/centros-fondap.html> Consultado mayo 24, 2007.
- SICID (Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo). (2002, Septiembre 23) The European Union and Chile sign a scientific and technological cooperation agreement.
<http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/02/1352&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en> Consultado noviembre 24, 2006.
- SPPNA (Security and Prosperity Partnership of North America). (2005). *Report to the Leaders. Prosperity Annex*.
http://www.spp.gov/report_to_leaders/prosperity_annex.pdf?dName=report_to_leaders Consultado agosto 16, 2006.
- U.S. Army ITC-Atlantic (International Technology Center-Atlantic). (s/f b). Worldwide USAITCs http://www.usaitca.army.mil/ww_usaitcs.html Consultado octubre 17, 2006
- U.S. Embassy Chile (s/f). Programs Supported in Latin America.
http://www.usembassy.cl/_temporal/597/ONR/Web%20Page/programs_supported_in_latin_amer.htm Consultado octubre 08, 2006
- Ulloa, Sergio (2004). Final Participant List - Int'l. Workshop on Multifunctional Materials II, October 17-21, 2004, Huatulco, Mexico.
www.iiiiv.cornell.edu/allwood/mexico2004/Roster.pdf Consultado octubre 10, 2006
- Universidad de Santiago (2007). Estrechos vínculos en nanotecnología entre la Universidad de Santiago y centros internacionales de investigación. Abril 12, 2007. Universia.cl.
http://www.universia.cl/portada/actualidad/noticia_actualidad.jsp?noticia=119585 Consultado Abril 13, 2007.
- USARSO (United States Army South FSH-Texas). (2006). Conference of American Armies (CAA). Specialized Conference on Science and Technology. *U.S. Army South*, 2(11), August 1. <http://www.usarso.army.mil/newsletter/August.pdf> Consultado octubre 01, 2006.
- White, Robert P. (2002). History of the Air Force Office of Scientific Research.
www.afrlhorizons.com/Briefs/Mar02/OSR0108.html Consultado octubre 02, 2006.
- World Bank (2006b). Knowledge Assessment Methodology.
<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/WBI/WBIPROGRAMS/KFDLP/EXTUNIKAM/0,,menuPK:1414738~pagePK:64168427~piPK:64168435~theSitePK:1414721,00.html> Consultado mayo 28, 2007.
- World Bank. (2006a). *World Development Indicators 2006*. CD-ROM. Washington, D.C.
- Zumelzu D., Enesto (2006). Nanotechnology in Chile: Experiences and Industry Potentials. Resumen de ponencia. International Conference on Nanoscience (ICON). 2006; 07–11 May. Choróní, Venezuela.
http://icon2006.phantomsnet.net/files/ICON06_K_ZumelzuErnesto.pdf Consultado abril 05, 2007.