

La nanociencia y la nanotecnología, un desafío a potenciar en el crecimiento económico de Chile

ERNESTO ZUMELZU DELGADO*

ANTONIO ZÁRATE ALIAGA**

Las actividades científicas, tecnológicas y de innovación están organizadas en Chile a partir de un Consejo de Coordinación integrado por el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad <www.cnic.cl> y por un Comité de cuatro Ministerios (Educación, Hacienda, Economía y Mideplan), destacando, entre otros, dos importantes organismos ejecutores de la ciencia que se desarrolla en el país: la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICT <www.conicyt.cl> y el Programa Milenio <www.mideplan.cl>.

CONICYT promueve, financia y desarrolla dos grandes pilares: formación de capital humano avanzado e investigación basal. Por su parte, el Programa Milenio promueve y financia la creación de centros de excelencia en ciencia y tecnología a través de los Institutos y Núcleos Milenios. Ambos pertenecientes a distintas dependencias ministeriales, CONICYT del Ministerio de Educación, y Milenio recientemente traspasado al Ministerio de Economía.

CONICYT coordina distintos programas como son: el Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), programa de investigación basal (del bicentenario del país); programas asociativos como Fondap y, programas regionales, entre otros, que son los que principalmente consideran las áreas de la nanociencia y la nanotecnología.

A su vez, el programa Milenio lo hace a través de los institutos o centros de excelencia.

Dichos programas se han visto fortalecidos en su financiamiento, desde el 2008, con fondos provenientes del royalty del cobre y préstamos del Banco Mundial.

En Chile, el aporte del PGB al desarrollo científico y tecnológico no supera el 0.4%, y una estimación de lo que se gasta en forma directa e indirecta con la nanociencia y la nanotecnología no supera los 30 millones de dólares en los últimos cinco años (tomando como base los montos asignados a los proyectos y validando con el costo aproximado de una publicación ISI en estas áreas).

Lo anterior se debe a que no existe una política en el país para el desarrollo de estas áreas científicas, y más bien la existencia de investigación de punta obedece a iniciativas de los propios investigadores chilenos con colaboración de su capital relacional internacional.

Sin embargo, debe quedar claro que muchos proyectos de investigación consideran desarrollos en nanociencia que no tienen una visibilidad específica, éstas son disciplinas asociadas principalmente a la física, química, biología molecular, bioquímica y biotecnología, y ciencias de la ingeniería.

En los últimos diez años, destacan el Anillo de Nanociencias en Valparaíso, Centro de Nanotecnología y Biología de Sistemas, Núcleo Científico Milenio Física Materia Condensada, Anillo Estudios Multidisciplinarios de Nanoestructuras Híbridas, Anillo Centro de Estudios Subatómicos (en conjunto con la Universidad Austral de Chile, <www.uach.cl>), todos liderados por la Universidad Santa María <www.usm.cl> y en colaboración con otras universidades chilenas.

También sobresalen, el Núcleo Milenio Mecánica Cuántica Aplicada y Química Computacional, de la Universidad Andrés Bello <www.uab.

* Universidad Austral de Chile. Miembro de la Red NANODYF.

** Universidad Católica del Norte. Miembro de la Red NANODYF.

cl>, el Centro de Investigación Interdisciplinario Avanzado CM, el Centro de Tecnología para la Minería y el Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería, de la Universidad de Chile <www.uchile.cl>.

Dos Anillos asociativos de la Universidad de Chile con la Universidad de Talca <www.utal.cl> y otro de la Universidad de Santiago de Chile <www.usach.cl> con esta última universidad en proyectos Anillos en Simulación Computacional Molecular de Nanomateriales y un Anillo en magnetismo a nano escala, respectivamente.

En el sur del país, la existencia de un Laboratorio Cluster Computacional de Física y un Laboratorio de Polímeros Avanzados, de la Universidad Austral de Chile.

En la Universidad de Concepción (www.udc.cl), un importante centro basal de Óptica y Fotonica CEFOP y un Centro Regional de I+D en el estudio de Polímeros Avanzados CIPA que incluye desarrollos en nanotecnología.

Sin embargo, es en el año 2009 que se crea, por concurso nacional, el más importante centro de nanociencia y nanotecnología del país, con fondos de fortalecimiento de ciencia basal de CONICYT, denominado Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y la Nanotecnología (CEDENNA), liderado por la Universidad de Santiago de Chile, asociado a destacados grupos de investigadores de otras universidades chilenas como del extranjero. Es el único centro con un perfil totalmente focalizado al desarrollo de la nanociencia y nanotecnología en el país en la actualidad.

Se avanza y se concuerda, en distintos ámbitos universitarios y de centros de investigación en Chile, en que el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología son áreas estratégicas de desarrollo para el país, especialmente en aplicaciones en las que hay fortalezas en explotación de recursos naturales, desarrollos para la salud humana, así como en la manufactura.

SITUACIÓN DE LA DIVULGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

La divulgación de la nanociencia y nanotecnología se efectúa a través de distintas modalidades,

ya sea por los propios grupos de investigadores (últimamente CONICYT de Chile pide a los líderes de proyectos que incluyan la actividad de difusión de sus resultados a la comunidad). Existe también como programa a nivel país el Programa Explora el cual es de divulgación nacional, estableciendo cada año un tema. Así, por ejemplo, el año 2008 fue el año de la divulgación de la nanotecnología, el 2009 de la energía, el 2010 de la astronomía y el 2011 el de la química.

Otra modalidad es a través de redes, como, por ejemplo, la Red RELANS, que es latinoamericana de tecnología y sociedad <www.estudios-deldesarrollo.net/relans> de tipo académica y educativa; también la Red Grupo de Montevideo <www.grupodemontevideo.edu.uy> de asociación Chile-Uruguay en la temática. Similares a esta última son redes con México: Red nanored <www.nanored.org.mx>; con Brasil a través del Grupo Binacional Chile-Brasil <www.conicyt.cl>, con latinoamérica y el Caribe por Redalyc <www.uaemex.mx> y a nivel iberoamericano con Universia <www.universia.cl>.

Diversos congresos nacionales e internacionales de ciencias básicas, realizados en Chile, incluyen la divulgación de resultados de investigaciones con componentes de nanociencia y nanotecnología.

Sin embargo, también se efectúan con poca periodicidad congresos y escuelas orientados específicamente a estas áreas. Así, por ejemplo, cabe mencionar los talleres y congresos nacionales de nanociencia organizados en Santiago y en las regiones de Valparaíso y Viña del Mar, durante el periodo 2007-2010, al alero de las Universidades Santa María, de Santiago de Chile, de Concepción, Católica de Chile, y de centros como el CIMAT (Centro de Investigación de Materiales) de la Universidad de Chile, en algunos casos se ha contado con la colaboración de empresas y universidades extranjeras.

A nivel de universidades y centros de investigación, es posible dimensionar la divulgación científica a través de artículos en revistas de corriente principal ISI, que dan cuenta de resultados de investigación con nuevos conocimientos generados, dan visibilidad a los grupos de investigación, disciplinas estudiadas y a

las instituciones a las que están adscritas. Estas publicaciones contribuyen como indicadores importantes a nivel país. Así, por ejemplo, en el periodo 2003-2010 Chile registra 444 publicaciones, concentradas principalmente en 12 universidades <www.isi.org>, con una fuerte colaboración por coautorías con España, Brasil y México a nivel iberoamericano. Las principales instituciones internacionales de colaboración en investigaciones en nanotecnología con Chile son: el CSIC y la Universidad de Barcelona, en España; el Instituto Max Plank, en Alemania; la Universidad Federal de Río de Janeiro, Estadual de Campina, Universidad de Sao Paulo, en Brasil; la Universidad de California, en EUA; y, NTL en el Reino Unido-Irlanda. Se registran también algunas empresas colaboradoras especialmente en biomedicina y nanoelectrónica.

Chile tiene tres revistas ISI que difunden artículos científicos de nanotecnología: *Electronic / Biothecnology*; *Boletín de la Sociedad Chilena de Química* y *Revista Médica de Chile*.

También es destacable, la divulgación de resultados de investigación a través de la Base Scielo Chile, con cinco revistas especializadas en las que se cuantifican 93 artículos en el mismo periodo.

Otra forma de divulgación es a través de artículos publicados en revistas editadas en general para todo público. Las revistas que incorporan o han incorporados trabajos de nanociencia y nanotecnología son, por mencionar algunas: *Indualimentos*, *Chile Científico*, *Centro de Estudios de Recursos Andinos*, *Revista Ercilla*, *Estudios del Desarrollo*, *Utopía y Praxis LA*, *El Campesino*, *Muy Interesante*, *Ingeniare (UTA)*, *Nuevo Político*, *Revista del Colegio de Ingenieros*, *Ciencia y Trabajo*, *El Pensador*, que son las de mayor circulación y se encuentran en búsquedas por internet.

Dichas revistas abordan, principalmente, artículos de divulgación de interés global, de avances de desarrollos en estas áreas con impacto en la salud humana, la alimentación, los riesgos para la sociedad, de procesos biotecnológicos, nanotecnología y sociedad, nanoelectrónica en las comunicaciones y sobre las potencialidades de estas áreas para el desarrollo industrial, entre otros.

En menor volumen, existen escasos programas de divulgación en la radio y televisión de Chile. Destacan dos programas del periodo 2006-2008 y del 2008-2011 que son "Enlace" y "Cazadores de la Ciencia", <www.tvnacional.cl>. La mayor divulgación es aquella accesible por los estudiantes e investigadores a través de blogs, webs, y otros medios especializados, a través de motores de búsqueda a nivel internacional.

En cuanto a concursos y exposiciones, cuya temática está parcialmente relacionada con estas áreas, son poco frecuentes y se desarrollan más bien en las propias universidades o por medio de grupos de investigadores, con sesiones de póster, semana de la ciencia, casa abierta a la comunidad, como las más destacables.

ESTADO DE LA FORMACIÓN EN LOS TRES NIVELES DE ENSEÑANZA

La nanotecnología en el nivel primario y secundario de enseñanza

No hay evidencias en el país de la existencia de programas o cursos específicos sobre nanotecnología, más aún, no se incluyen en las directivas curriculares que supervisa el Ministerio de Educación.

Sin embargo, la nanotecnología forma parte de algunas asignaturas generales de física y química, en las cuales se describen los principios generales y fundamentos de esta área del conocimiento.

Como parte del proceso de aprendizaje-enseñanza, los alumnos de estos dos niveles realizan actividades de búsquedas bibliográficas, tareas con temas específicos de nanotecnología, seminarios guiados, conferencias propias o desde las universidades, debates, clubes científicos financiados por EXPLORA <www.explora.cl>, y otras actividades afines que les permiten familiarizarse con esta temática.

La nanotecnología en la enseñanza universitaria

No existe a la fecha en el país una carrera universitaria, un programa de posgrado de maestría o

doctorado que aborde íntegramente o tenga alguna relación con la nanotecnología. A la fecha, está en etapa de proyecto un programa de doctorado en nanotecnología bajo el auspicio del CEDENNA, la Universidad de Santiago de Chile y las universidades asociadas a este Centro de Investigación Basal.

A nivel de pregrado, tanto para las licenciaturas como para las carreras profesionales, hay "cursos o asignaturas" que tienen contenidos básicos y generales de nanotecnología, especialmente en las cinco siguientes disciplinas: química, física, bioquímica, biología y ciencias de la ingeniería. Destaca un curso de nanoquímica, con carácter de electivo, en la Universidad de Chile. Hay actividades de vinculación de pregrado-investigación a través de tesis o de apoyos a líneas de investigación, preferentemente en las Universidades con participación activa de los estudiantes. En muchos casos, se realizan "Jornadas de Investigación de Pregrado" en las que los estudiantes muestran sus resultados y experiencias en forma de póster (u oral) del desarrollo de trabajos o estudios que incluyen la nanotecnología.

A nivel de posgrado, existen cursos y actividades que incluyen esta área y que se manifiestan, principalmente, a través de líneas de investigación consolidadas <www.fondecyt.cl>, cuyos resultados se publican en revistas de corriente principal <www.isinet.com>.

Por tanto, la nanociencia y la nanotecnología se incluyen en los aproximadamente 30 programas de magister y los 37 programas de doctorado que se asocian con las cinco disciplinas mencionadas, e impartidos por las universidades asociadas al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH), <www.cruch.cl>.

Cabe destacar también la formación de posdoctorados, principalmente en las universidades tradicionales (reconocidas así antes de 1982), de mayor prestigio en el país por su productividad científica, calidad en sus funciones básicas y años de acreditación obtenidos, éstas son: Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Santiago de Chile, Universidad Austral de Chile, Universidad Santa María, Universidad Ca-

tólica de Valparaíso y Universidad Católica del Norte.

Estos posdoctorados implican la formación, a través de la inserción de jóvenes doctores en determinados grupos de investigación de alta productividad científica en el país, tanto en universidades como en centros de investigación financiados principalmente por CONICYT, los cuales desarrollan investigaciones de frontera del conocimiento y donde se incluyen la nanociencia y la nanotecnología dentro de las disciplinas mencionadas.

CONCLUSIONES

Chile está actualmente en un gran debate y generando proyectos de ley, para realizar transformaciones muy profundas a nivel primario y secundario que mejoren el sistema educacional del país, especialmente en cuanto a un modelo educativo con calidad en los procesos de enseñanza y aprendizaje, y disminuir la brecha entre la enseñanza pública y la privada. Esto implica una educación primaria, secundaria y terciaria que lleve al país a ser un país desarrollado, lo que sin duda alguna implicará abordar, entre otros temas, en forma organizada, estrategias en lo referente a la nanotecnología.

Hay un gran desafío respecto a la nanociencia y la nanotecnología, por cuanto esto requiere una base científica sólida, de calidad y de excelencia, con un alto grado de internacionalización. Se trabaja en ello, hay compromisos del gobierno por incrementar el aporte al desarrollo científico y tecnológico respecto del PGB, al menos a un 1.0% en los próximos 10 años.

La divulgación de la nanotecnología pasa por mejorar la comunicación social de la ciencia, lo cual implica consolidar un sistema científico-tecnológico en el país, así como la generación de políticas, la formación en todos los niveles educacionales, la capacitación y generar compromisos de todos los actores públicos y privados.

RECOMENDACIONES

Hay que avanzar en la divulgación y comunicación social de la ciencia en general y, en particular,

en la de la nanotecnología; asimismo, es necesario trabajar e investigar en temas globales, puesto que los grandes problemas de la humanidad, presentes y futuros, tendrán soluciones a través de estas áreas del conocimiento. El desarrollo de la nanotecnología es un área estratégica en cuanto a preservar los recursos naturales, cuidar el medioambiente y consolidar el modelo de innovación para la competitividad.

Lo anterior también implicará desafíos en cuanto a considerar los aspectos éticos de la formación e investigación en nanotecnología para esta sociedad del conocimiento.

IMAGEN 1. Estudiantes realizando prácticas en el Laboratorio de Nanoquímica.



IMAGEN 2. Estudiantes realizando prácticas en el Laboratorio de Nanoquímica.



Finalmente, el Estado debe asumir su rol respecto a fortalecer con financiamiento el sistema científico tecnológico del país, con la participación de todos los actores involucrados, lo cual permitirá generar riqueza y calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- Consejo Nacional de la Innovación para la Competitividad, Innovación Chile 2010-2020, vols. 1 y 2, 2009.
- Comision Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT, <www.conicyt.cl>.
- Consejo de Rectores de Universidades Chilenas CRUCH, *Anuario 2009*.
- Altbir, D. (2010). "Nanociencia: la ciencia del siglo XXI". *Revista Chile Científico*, julio.
- Foladoli, G. y Fuentes, V. (2008). "Nanotecnología en Chile ¿Hacia una economía del conocimiento?". *Estudios del Desarrollo*, México.
- Zumelzu, E. (2006). "Nanotechnology in Chile: Experiences and industry potentials". *Proc. International Conference on Nanoscience*, ICON, Venezuela, mayo.
- Zumelzu, E. (2008). "La nanotecnología en Chile!". *Revista Nanotecnología*, Hoja 4 Informativa, Universidad de Oviedo, España, 4: 28-29.

IMAGEN 3. Estudiantes realizando prácticas en el Laboratorio de Nanoquímica.

