

NANOTECNOLOGÍAS DIRIGIDAS A NECESIDADES SOCIALES. CONTRIBUCIONES DE LA INVESTIGACIÓN LATINOAMERICANA EN MEDICINA, ENERGÍA Y AGUA

NANOTECHNOLOGIES ADDRESSED TO SOCIAL NEEDS. CONTRIBUTIONS OF THE LATIN-AMERICAN RESEARCH IN MEDICINE, ENERGY AND WATER

NOELA INVERNIZZI¹, GUILLERMO FOLADORI², EDUARDO ROBLES-BELMONT³, EDGAR ZÁYAGO-LAU², EDGAR ARTEAGA FIGUEROA⁴, CAROLINA BAGATTOLLI¹, TOMAS CARROZZA⁵, ADRIANA CHIANCONE⁶, WILLIAM URQUIJO⁷

¹ UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA (BRASIL) ² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS (MÉXICO)

³ UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (MÉXICO) ⁴ CONACYT ⁵ UNIVERSIDAD DEL MAR DE PLATA (ARGENTINA) ⁶ CÁTEDRA INNOVACIÓN Y DESARROLLO. CLAEH (URUGUAY) ⁷ ABOGADO.

* AUTOR PARA CORRESPONDENCIA: NOELA INVERNIZZI E-MAIL: noela.invernizzi@gmail.com

Recibido: 03/05/15
Aceptado: 28/09/15

Resumen: Este artículo examina, con base en informaciones provenientes de publicaciones científicas y grupos de investigación, el estado de la investigación en nanotecnología aplicada a las áreas de medicina, energía y agua en América Latina. Tales áreas han sido consideradas de especial relevancia para atender las necesidades sociales de los países en desarrollo. Mostramos que los países de la región han incorporado estas áreas a sus agendas de nanotecnología y que varios países poseen capacidades crecientes de investigación. No obstante, estas capacidades están concentradas en Brasil y México, y las redes regionales de colaboración son aún débiles. Aunque las temáticas de investigación tienden a alinearse con problemas sociales relevantes, persiste un conjunto de desafíos para que los resultados de las investigaciones se traduzcan efectivamente en mejoras en la calidad de vida.

Palabras-clave: nanotecnología, necesidades sociales, nano-medicina, nano-energía, nano-agua.

Abstract: This paper reviews, based on data from scientific publications and research groups, the state of the art of nanotechnology research applied to the areas of medicine, energy and water in Latin America. Such areas have been considered as particularly relevant in order to meet the social needs of the developing countries. It is shown that the countries in the region have incorporated these areas to their nanotechnology agendas and several countries have increasing research capacities. However, such capacities are concentrated in Brazil and Mexico, while the regional cooperation networks are still weak. Although the research topics tend to align with relevant social issues, there are still a number of challenges so as the results of such investigations may be effectively reflected in quality of life improvements; one of them is that many publications and research topics are on basic science, which makes it difficult to evaluate their potential application field.

Key-words: nanotechnology; social needs; nano-medicine; nano-energy; nano-water.

Introducción

Este artículo examina las actividades de investigación en nanotecnología aplicada a las áreas de medicina, energía y agua, que están en curso en América Latina. Tales áreas han sido consideradas de especial relevancia para atender las necesidades sociales de los países en desarrollo (Juma & Yee-Cheong, 2005; Salamanca-Buentello et al., 2005). Este trabajo se basa en una investigación realizada en el marco del proyecto *NMP-DeLA - Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies Deployment in Latin American Countries*, dentro del EU 7th Framework Programme (2014), que tiene como propósito identificar posibles canales de cooperación en investigación entre países de la Unión Europea y de América Latina en áreas que podrían ser relacionadas más directamente a las necesidades sociales, tomando como foco salud, energía y agua.¹

Se recabó y analizó información secundaria sobre los artículos científicos publicados y sobre los grupos de investigación que abordan las temáticas señaladas, a partir de fuentes bibliográficas y de las páginas Web de los principales centros de investigación y de fomento a la investigación de la región. La información se presenta de forma agregada para América Latina en su conjunto y para seis países en particular: Brasil, México, Argentina, Chile, Colombia, y Uruguay. Aunque también se presenta información bibliométrica para el Caribe, tales países no constituyeron el foco de análisis.

Mostramos que los países de la región han incorporado la aplicación de nanotecnología en las áreas de salud, energía y agua a sus agendas de investigación. Aunque de forma bastante desigual, dados los diversos tamaños, trayectorias científicas, incentivos de las políticas de ciencia, tecnología e innovación, y especificidades locales, varios países están construyendo capacidades humanas y materiales de investigación que constituyen un importante recurso para enfrentar problemas en esas áreas a partir del desarrollo científico-tecnológico local.

El artículo está estructurado en cinco secciones, siguiendo esta introducción. La segunda sección revisa la discusión sobre el papel de la nanotecnología en los países en vías de desarrollo. La tercera sección presenta una breve contextualización sobre las políticas de estímulo a la nanotecnología en América Latina. La cuarta expone la metodología. La quinta sección presenta los resultados y la discusión para cada una de las tres áreas. Finalmente, se exponen las conclusiones.

¹ La información utilizada en este artículo proviene de la participación de la ReLANS (Spanish acronym for Latin American Nanotechnology and Society Network) en dicho proyecto bajo la coordinación de los dos primeros autores.

Nanotecnología para la satisfacción de necesidades sociales

Tan pronto comenzó a desarrollarse la nanotecnología surgió la interrogante de si ésta podría tener un papel destacado en los países en desarrollo. Frente a fuertes desigualdades entre países y al interior de éstos, la cuestión del acceso a los frutos del desarrollo tecno-científico se volvió un asunto polémico. ¿Contribuiría la nanotecnología a aliviar la pobreza o a distanciar aún más la brecha entre ricos y pobres? ¿Podrían los países en desarrollo sumarse a la nueva ola tecnológica, o quedarían rezagados? En la polémica participaron académicos (Calestous & Yee-Cheong, 2005; Crow & Sarewitz, 2001; Invernizzi, Foladori, & Maclurcan, 2008; Mnyusiwalla, Daar, & Singer, 2003; Salamanca-Buentello et al., 2005), ONGs (ETC group, 2003, 2004), Think tanks (Leach & Scoones, 2006; Meridian Institute, 2005a, 2005b; Wilsdon & Willis, 2004), organizaciones científicas (Hassan, 2005; Royal Society (Great Britain), 2004), y algunas instituciones internacionales como la UNIDO (Brahic, 2005; Brahic & Dickson, 2005a, 2005a) y la UNESCO (2006).

La discusión se polarizó en torno a posiciones que, en un trabajo anterior (Invernizzi et al., 2008), hemos denominado como perspectivas instrumentalista y contextual. La primera enfatizaba la contribución de la nanotecnología para aliviar la pobreza, destacando la conexión entre áreas de investigación en nanotecnología y su potencial técnico para contribuir a solucionar problemas recurrentes en la población pobre, como la falta de acceso a agua potable, diagnóstico y tratamientos de salud y fuentes de energía renovables y baratas, entre otras. La segunda posición resaltaba que la nueva trayectoria tecnológica se iniciaba en un contexto de fuerte concentración económica en pocos países y en grandes corporaciones, de creciente privatización del conocimiento (patentes) y de orientación hacia los mercados con mayor poder adquisitivo, todo lo cual podría reducir el potencial de la nanotecnología para satisfacer las necesidades sociales de las poblaciones históricamente excluidas de los beneficios tecnológicos. Asimismo, destacaba que los países en desarrollo, y en particular sus poblaciones pobres, tenderían a experimentar una fuerte desestructuración, por lo menos en el corto plazo, debido a los efectos en los cambios en la división del trabajo provocados por la nanotecnología como, por ejemplo, por la sustitución de materias primas naturales.

Aunque intuitivamente puede ser identificada una correlación positiva entre tecnología y desarrollo, la relación entre ambos no es directa ni simple. Primeramente, la adopción de una nueva tecnología por un país en desarrollo demanda una serie de condiciones económicas, políticas y sociales, lo que Kim (1997), estudiando el caso de la industrialización tardía de Corea, definió como “technological capability”, o capacidad de asimilar, usar e adaptar tecnologías. Otra cuestión relevante es que la tecnología y sus productos deben atravesar el mercado para llegar a los usuarios, lo que nos coloca, no apenas frente a las dificultades de superar el “valle de la muerte” entre la investigación y la comercialización, como también frente a las diferencias en la capacidad de compra

entre países ricos y pobres, desarrollados o en vías de desarrollo, y también frente a la desigualdad interna de los países, que resulta fuertemente determinante para que las nuevas tecnologías tengan efectos benéficos para el conjunto de la población (Sarewitz, 2009). Además, el enfoque “one technology fits all”, bastante presente en la posición instrumentalista, ha sido criticado por su incapacidad para resolver problemas sociales (Leach & Scoones, 2006). Diversas tecnologías pueden presentar potencial para atender necesidades sociales, de manera que la elección de cuál es más idónea en cada contexto requiere considerar diversos criterios.

La perspectiva de que algunas innovaciones propiciadas por la nanotecnología ayudarían a alcanzar las Metas de Desarrollo del Milenio fue originalmente propuesta por Sallamanca-Buentello *et al* (2005), seguida por el documento de Juma & Yee-Cheong (2005) *Task Force on Science, Technology and Innovation of the United Nations Millennium Project*. Varios países industrializados financiaron investigaciones en este sentido, y organizaciones internacionales facilitaron la instalación de centros científicos de excelencia en países en desarrollo para que pudiesen realizar investigación en nanotecnología en condiciones similares a la de los países industrializados (Brahic & Dickson, 2005b; Hassan, 2005). Sin embargo, las políticas de nanotecnología de los países en desarrollo poco se enfocaron en los problemas de la pobreza. La mayoría de ellas conceptualizó los beneficios sociales de la nanotecnología como resultantes del derrame que generaría el aumento de la competitividad (Invernizzi, 2010; Leach & Scoones, 2006).² Según Cozzens *et al*, (Cozzens, Castillo, & et al, 2012)(2012), una excepción fue la Iniciativa de Nanotecnología de África del Sur, que propone salud, energía y agua como las áreas de investigación en nanotecnología para el desarrollo social, al mismo nivel de importancia en que coloca el aumentar la competitividad del país.

En otro trabajo, Cozzens *et al*. (2013) realizaron una evaluación de las investigaciones en nanotecnología orientadas a los Objetivos del Milenio, mostrando relaciones más complejas de las previstas entre desarrollo de tecnologías y satisfacción de necesidades sociales. Los autores analizaron la investigación en nanotecnología aplicada a tres sectores considerados esenciales para cumplir con los Objetivos del Milenio: tratamiento de agua, producción y conservación de energía y agricultura. Los resultados mostraron que efectivamente existen investigaciones en dichas áreas, pero los países más pobres están prácticamente ausentes de esas iniciativas, con excepción de investigaciones en células solares realizadas en algunos países africanos. Los países BRICS³ tienen problemas sociales en dichas áreas y también están investigando en aplicaciones de nanotecnología; sin embargo, lo hacen en estrecha vinculación con las agendas de investigación de los países desarrollados y con énfasis en aplicaciones para el mercado, lo cual podría disminuir la posibilidad de uso por la población pobre.

² Esto no significa que no existan investigaciones en áreas socialmente relevantes, pero las políticas públicas en la región no contemplaron ese objetivo explícitamente en el fomento a las nanotecnologías.

³ Acrónimo para Brasil, Rusia, India, China y África del Sur.

Finalmente, los autores apuntan que mientras las trayectorias de nanotecnología en agua y energía podrían presentar promesas para los Objetivos del Milenio, las investigaciones en el sector agrícola y de alimentos está claramente siguiendo el padrón de concentración de las grandes corporaciones de los países del norte (Cozzens et al., 2013).

Nanotecnología en América Latina y el Caribe

La investigación en nanotecnología se expandió por América Latina durante la década pasada. En muchos países los gobiernos tomaron la decisión de considerarla un área prioritaria en sus planes de Ciencia, Tecnología e Innovación (CT&I) o en sus Planes de Desarrollo y, en algunos casos, invirtieron considerables recursos para hacerlo efectivo. En parte, este proceso estuvo vinculado a las orientaciones dadas por organismos internacionales, como ONUDI y OAS, que insistieron en la necesidad de incorporar a la nanotecnología, junto a la biotecnología y a las tecnologías de la información y comunicación dentro de los sectores estratégicos de las agendas de desarrollo (Foladori, 2013).

El Cuadro 1 muestra el momento en que las nanotecnologías comenzaron a contar con financiamiento público y/o se tornaron un área estratégica en los planes de CT&I en los países seleccionados. Puede observarse el creciente número de países que se suman a lo largo de la década de 2000.

Cuadro 1: Inicio de las actividades de investigación o incorporación de la nanotecnología como área prioritaria de CT&I en países seleccionados de América Latina

| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|--|------|--|---|--|---|------|--|---|--|
| Programa nacional de nanotecnología | | | | Brasil Programa Nacional de Nano Ciencia y Tecnología | Argentina Fundación Argentina de Nanotecnología | | | | | |
| Nanotecnología es identificada como área estratégica en los planes de Ciencia y Tecnología | México Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 | | | Brasil Programa Pluri anual MCT 2004-2007 | Argentina Plan de Acción de Ciencia Tecnología e Innovación 2005-15 Guatemala Plan Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación 2005-14 Ecuador Política Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación 2005-10. | Colombia Visión Colombia II Centenario: 2019 Perú Plan Nacional Estratégico de Ciencia Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021 | | República Dominicana Plan Estratégico de Ciencia Tecnología e Innovación 2008-2018 | | Uruguay Plan Nacional Estratégico de Ciencia Tecnología e Innovación 2010 Panamá Plan Estratégico Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación 2010-2014 |
| Actividades iniciales especialmente dirigidas a las nanotecnologías | Brasil CNPq crea cuatro redes de investigación | | Cuba Red de nanotecnología del Ministerio de Educación Superior | Argentina ANPCYT Llamado para proyectos de nanotecnología Colombia Nanotecnologías como área estratégica y creación de centros de excelencia Costa Rica LANOTEC Laboratorio financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, universidades, empresas y la Fundación USA-Costa Rica. | Venezuela Apoyo de FONACYT para la formación de Recursos Humanos en nanotecnología y 1ª Escuela de Nanotecnología. | | | Chile Conycit financia proyectos y apoya centros de investigación Venezuela Lleva a cabo estudios iniciales sobre Tecnologías convergentes y nanomateriales | Ecuador Centro Ecuatoriano de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología | |

Fuente: Tomado de (Invernizzi, Hubert, & Vinck, 2014)

Según varios indicadores, como el gasto en investigación, la cantidad de investigadores y el número de publicaciones científicas, los países que lideran la investigación en este campo en la región son Brasil, México y Argentina (Invernizzi, Korbes, & Fuck, 2012). Pero muchos otros países de América Latina, medianos y pequeños, también tienen grupos de investigación en diversas áreas de nanotecnología.

Algunos gobiernos han dado señales en sus planes de desarrollo y políticas públicas de encauzar la Investigación y Desarrollo (I&D) hacia áreas relacionadas a intereses nacionales, y vincularla con las cadenas de valor, como el Brasil (Plentz, 2013) y la Argentina (Spivak L'Hoste, Hubert, Figueroa, & Andrini, 2012). Casi todos los países de América Latina tienen estructuras de financiamiento público para articular la I&D de los centros públicos con el sector privado, lo cual podría ser otro indicador del interés por acercar la investigación a resultados prácticos. Inclusive se han creado parques industriales de nanotecnología que combinan la investigación pública y privada con el proceso productivo, con incubadoras de empresas (e.g. Brasil, México, Uruguay) (Chiancone, 2012; Invernizzi et al., 2012; Záyago Lau, 2011). Sin embargo, la promoción de la relación entre la investigación y el sector productivo ha sido un objetivo constante en las últimas décadas en las políticas de CT&I en América Latina, sin que ello haya permitido superar las brechas en las cadenas de valor envolviendo productos basados en nuevas tecnologías.

América Latina –y en particular sus mayores países— tiene un respetable caudal de científicos en nanotecnología y algunos centros de investigación cuentan con laboratorios muy bien equipados.⁴ En Brasil, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación estima en 2 500 los investigadores y 3 000 los estudiantes de postgraduación en el país (Barbosa, 2012). En México, el departamento oficial de estadísticas estima en cerca de 500 los investigadores en nanotecnología asociados a investigación empresarial (INEGI, n.d.), y un total de 1 500 agregando académicos y estudiantes de postgrado. En Argentina, la FAN (Fundación Argentina de Nanotecnología) registra 483 investigadores incluyendo estudiantes de postgrado (FAN, 2012). Esas capacidades de investigación son, sin duda, un punto de partida importante para estimular el desarrollo de las nanotecnologías en áreas relevantes para la región.

Metodología

La investigación fue realizada a partir de dos diferentes fuentes de información. Por un lado, fueron utilizados datos bibliométricos de la Web of Science para América Latina y el Caribe, de forma agregada y para los siguientes países

⁴ Brasil tiene el único laboratorio de luz sincrotrón de América Latina. Para una visión de los principales laboratorios de nanotecnología véase (Foladori, Figueroa, Záyago, & Invernizzi, 2012b).

seleccionados: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Uruguay. Por otro lado, fue realizada una búsqueda de información en bases de datos disponibles en la Word Wide Web sobre grupos y proyectos de investigación en las áreas temáticas seleccionadas y por países. En algunos países estos datos están organizados por las instituciones de fomento a la Ciencia y Tecnología, mientras que en otros fue necesario realizar una búsqueda institución por institución.

Para la información bibliométrica se utilizó las siguientes bases de datos: Science Citation Index, Social Science Citation Index and the Arts & Humanities Science Citation Index. Fueron seleccionados todos los artículos donde al menos uno de los autores estuviese adscrito a una institución de I&D o educativa de América Latina y el Caribe, y de los países seleccionados, y publicados hasta el año 2012 inclusive. Para cada área se utilizó un paquete de términos de búsqueda específicos.

La búsqueda de información bibliométrica en el área de nano medicina empleó la estrategia de búsqueda propuesta por Wagner et al (2008) (véase el anexo para los términos de búsqueda). Luego la información fue agregada en grandes tópicos, de manera de poder comparar las fuentes bibliométricas con las fuentes de grupos de investigación, como será explicado más adelante. Los tópicos corresponden a las tres divisiones más comunes de la nano medicina encontrada en los artículos científicos: terapia, diagnóstico y medicina regenerativa, además de un cuarto, biomateriales y partículas metálicas, debido al hecho de que varios artículos y proyectos de investigación están en el nivel de ciencia básica, sin una clara indicación de su potencial aplicación (ETP Nanomedicine–NANOMED2020 2013).

La búsqueda de información bibliométrica en el área de nano energía empleó una estrategia que contiene cinco ecuaciones de búsqueda compuesta de palabras clave representativas del sector de energía, tales como energía fotovoltaica, energía eólica, combustibles fósiles, y transporte y almacenamiento de energía, todas ellas derivadas de la lectura de bibliografía seleccionada sobre el sector. Tales términos de búsqueda fueron agregados en grandes tópicos (véase el anexo para los términos de búsqueda).

La búsqueda bibliométrica en el área de nano agua empleó la estrategia de búsqueda compuesta de tres ecuaciones de términos clave agrupados en los siguientes dos tópicos: remediación de aguas contaminadas, y, potabilización de agua. Estos tópicos representan los principales tópicos relacionados con agua en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (agua potable e instalaciones sanitarias) (Naciones Unidas, 2014) (véase el anexo para los términos de búsqueda).

La información bibliométrica fue complementada con una búsqueda exhaustiva de los grupos de investigación y/o proyectos de investigación en las áreas seleccionadas y para los países escogidos. Esto fue realizado revisando las páginas Web de todas las principales instituciones de investigación y enseñanza sobre

nanotecnología, y, en los casos existentes, las bases de datos sobre grupos de investigación.⁵

Los países de América Latina no tienen un sistema de registro de las investigaciones en nanotecnología que consolide la información dispersa y permita su clasificación temática, aunque algunos países tienen bases de datos parciales. La búsqueda identificó, en primera instancia, todos los grupos que trabajaban con nano* (agua, energía, medicina); en segunda instancia se clasificó manualmente el tópico dentro de cada área a partir de la lectura de los resúmenes de los proyectos y/o de la presentación de objetivos y líneas de investigación de los grupos de investigación. Dado que los grupos de investigación identificados difieren en cantidad de miembros, en disponibilidad de equipo de investigación, en financiamiento, en infraestructura de redes, y en trayectoria temporal no es adecuado realizar una comparación entre ellos, o entre países. La utilidad de esta información radica en posibilitar el mapeo de la orientación de las investigaciones en diversos países, no su jerarquía.

Los tópicos seleccionados para realizar el mapeo de grupos de investigación en cada área se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Áreas y tópicos de investigación de los grupos de investigación

| Áreas | Tópicos de investigación |
|-----------------|--|
| Medicina | Diagnóstico |
| | Fármacos, terapias, entrega de drogas, vacunas |
| | Regenerativa |
| | Biomateriales y partículas metálicas |
| | Otros y no específicos |
| Energía | Fósil |
| | Solar / fotovoltaica |
| | Almacenamiento / transporte |
| | Otros y no específicos |
| Agua | Remediación / monitoreo y sensores |
| | Potabilización |
| | Otros y no específicos |

Fuente: Elaborado por los autores.

El agrupamiento de la información de cada área en grandes tópicos obedeció a la necesidad de que la información de las dos fuentes diferentes fuese relativamente comparable. Mientras la información obtenida de la WoS proviene de la selección de términos que se ajustan a terminología técnica en cada una de las áreas (e.g. nanopartículas de oro, catálisis), la información obtenida de los grupos de investigación tiene mayor relación con el objetivo de la investigación que los grupos resaltan en los resúmenes de sus proyectos y en la descripción de su línea

⁵ Este fue el caso de Brasil (CNPq- grupos de pesquisa), México (Promep- Cuerpos Académicos, IPN), Colombia (Colciencias- Grupos de Investigación).

de investigación (e.g. diagnóstico, terapia). Dada la dificultad de comparación de las dos fuentes de información, creamos un mecanismo intermedio, o puente, organizando la información en tópicos que fuesen identificables tanto desde los términos de búsqueda bibliométrica como desde el análisis del objetivo del grupo de investigación. Este puente metodológico nos permite una comparación en términos generales, aunque nunca una correlación directa, y esto por varios motivos. Entre ellos, porque la existencia de un grupo de investigación no implica automáticamente que publique artículos científicos; además, porque la información bibliométrica abarca un periodo de 12 años, mientras que la información de los grupos de investigación corresponde a un momento en el tiempo, cuando fue realizada la búsqueda, entre 2013 y 2014.

Los resultados para cada área (medicina, energía y agua) se presentan en la próxima sección y subsecciones. Primeramente se muestran los resultados de la información bibliométrica y a continuación los resultados de la información sobre grupos de investigación.

Resultados y discusión

Medicina

La aplicación de la nanotecnología al campo médico es muy promisoría. Hay tres áreas donde su desarrollo es inminente o ya está sucediendo: terapia, diagnóstico y medicina regenerativa (ETP Nanomedicine–NANOMED2020, 2013). Existen diversos métodos terapéuticos que usan nanopartículas o dispositivos. Uno de ellos son los transportadores (carriers), para llevar fármacos a células y/o tejidos afectados (drug delivery), como los dendrímeros, nanotubos o liposomas. Otras nanopartículas o dispositivos son utilizados para colocarse junto a determinadas células y tejidos y ser accionados desde el exterior, como es el caso de los proyectiles (nanoprobes) o cartuchos (nanoshells) expuestos a control electromagnético desde el exterior, de forma que, cuando calentadas, pueden liberar el fármaco y/o quemar los tejidos dañados. También hay diversas técnicas de diagnóstico utilizando nanotecnología. Para nano imagen se utiliza, por ejemplo, nanopartículas de óxido de hierro para-magnético como agente de contraste, en el caso de análisis molecular in-vivo. También se utilizan aplicaciones nanotecnológicas para diagnóstico in-vitro, utilizando agentes de contraste como colorantes fluorescentes o nanopartículas magnéticas (Saini, Saini, & Sharma, 2010; Singla & Singla, 2014). En relación a la medicina regenerativa el reto es potenciar la regeneración de los tejidos al tiempo que se minimizan las respuestas inmunológicas evitando infecciones. Las nuevas superficies nano-estructuradas han demostrado ser eficientes en huesos y cartílagos, tejidos vasculares, en el corazón el cerebro y otros. Para ello se utilizan diversos polímeros y aleaciones de

metales según su biocompatibilidad (Khang, Carpenter, Chun, Pareta, & Webster, 2010).

Los primeros artículos identificados en el campo de la nano medicina en América Latina y el Caribe fueron publicados en 1988, sin embargo, se trataba de publicaciones esporádicas. Es a partir del 2000 que el número de publicaciones comienza a incrementarse sostenidamente.

El análisis bibliométrico detectó 950 artículos sobre nano medicina publicados en la región. Como puede observarse en el Cuadro 3, las publicaciones se originaron entre 13 países. Brasil concentra la mayoría de las publicaciones científicas en nano medicina, con cerca del 65 % del total. Le sigue México, que alcanza en torno de 17 % de las publicaciones. Tomados conjuntamente, Brasil y México son responsables por más del 80 % de la producción de artículos científicos en la materia.

Cuadro 3: Países y frecuencia de artículos publicados en el campo de la nano medicina en América Latina y el Caribe hasta el año 2012

| País | Artículos | % de 950 |
|------------------------------|-----------|----------|
| Brazil | 630 | 66.32 % |
| México | 161 | 16.95 % |
| Argentina | 87 | 9,16 % |
| Chile | 38 | 4.00 % |
| Cuba | 22 | 2.32 % |
| Colombia | 14 | 1.47 % |
| Uruguay | 13 | 1.37 % |
| Venezuela | 7 | 0.74 % |
| Peru | 4 | 0.42 % |
| Costa Rica | 2 | 0.21 % |
| Panama | 2 | 0.21 % |
| Trinidad & Tobago | 1 | 0.11 % |
| Guatemala | 1 | 0.11 % |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

Para evaluar las temáticas abordadas en las publicaciones según los tópicos descritos en la metodología (Cuadro 2), algunos artículos fueron clasificados en más de un sector. De esa forma, la suma de la columna de "artículos" alcanza 998 (sobrepasando el número real de artículos, 950), y sobre ese total es calculada la distribución porcentual por tópico (Cuadro 4). Como fue explicado, el grupo denominado "biomateriales y partículas metálicas" fue adicionado para contener los artículos que reportan investigaciones básicas sobre ese tipo de partículas para "aplicaciones médicas" sin más explicación sobre el tipo de utilización.

Cuadro 4: Artículos científicos en nano medicina por tópico

| Tópico | Artículos | % de 998* |
|---|-----------|-----------|
| Diagnóstico | 281 | 28.2 |
| Terapia, fármacos y vacunas | 642 | 64.3 |
| Medicina regenerativa | 0 | 0.0 |
| Biomateriales & partículas metálicas | 41 | 4.1 |
| Otros y no específicos | 34 | 3.4 |
| Total | 998 | 100.0 |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

* Algunos artículos fueron contados dos veces debido a que cubrían más de un tópico de investigación.

Los resultados muestran que terapia, fármacos y vacunas es el que tiene mayor número de publicaciones, alcanzando el 64.3 % del total. Este tópico registró un aumento mucho más significativo de publicaciones que los demás tópicos a partir de 2005. Le siguen los artículos sobre diagnosis, con 28.2 %, y la categoría biomateriales y partículas metálicas, con 4.1 %. No hay artículos referidos a medicina regenerativa, aunque, como veremos, hay grupos de investigación que declaran trabajar en esta temática.

En el Cuadro 5 analizamos las co-autorías de artículos con autores de fuera de la región. Se observa que la mayor frecuencia de colaboraciones es con los Estados Unidos (8 % de artículos publicados), Francia (7.47 %), España (7.37 %) y Alemania (3.89 %). Estos resultados confirman que las colaboraciones no son significativas para el desarrollo del campo en la región Latinoamericana y del Caribe.

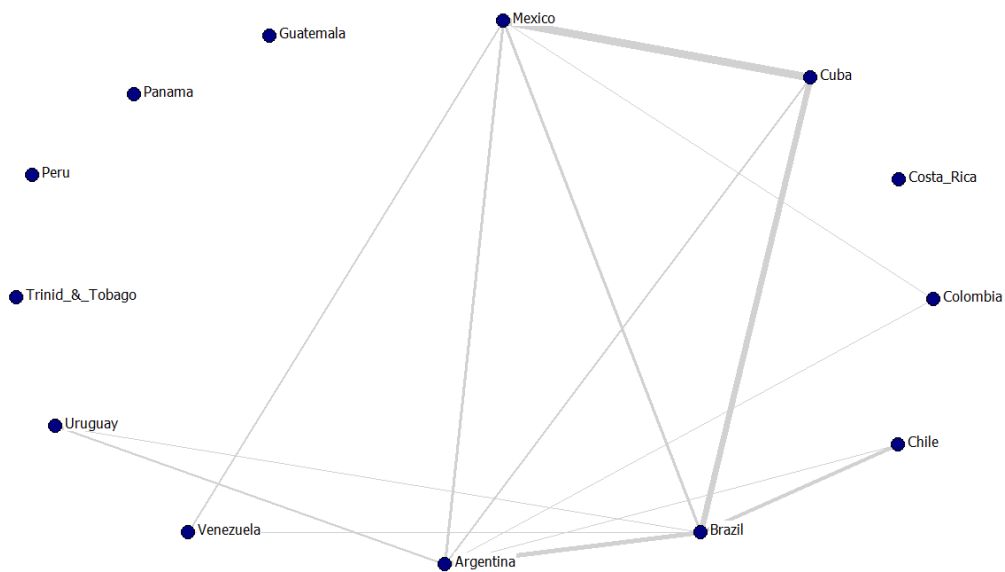
Cuadro 5: Colaboraciones con autores de 10 países fuera de la región de América Latina y el Caribe

| País | Artículos | % de 950* |
|------------------------|-----------|-----------|
| Estados Unidos | 76 | 8.00 % |
| Francia | 71 | 7.47 % |
| España | 70 | 7.37 % |
| Alemania | 37 | 3.89 % |
| Portugal | 20 | 2.11 % |
| Reino Unido | 17 | 1.79 % |
| Canadá | 14 | 1.47 % |
| Italia | 11 | 1.16 % |
| República Checa | 8 | 0.84 % |
| Polonia | 7 | 0.74 % |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

Las colaboraciones científicas entre los países de la región de América Latina y el Caribe tampoco son intensas. En la Figura 1, los nodos representan países, las líneas representan las colaboraciones científicas y el grosor de ellas está determinado por la frecuencia en las co-autorías. La más significativa de estas colaboraciones es entre México y Cuba, Brasil y Cuba, Argentina y Brasil. Varios países tienen relaciones débiles o esporádicas o no tienen colaboraciones con autores de la región.

Figura 1: Red de colaboraciones científicas en el campo de la nanomedicina en América Latina y el Caribe hasta el año 2012



Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

En un segundo momento fueron analizadas las actividades de los grupos de investigación en nano medicina de cada país. Brasil y México concentran la mayor presencia de grupos de investigación en este campo. Argentina cuenta también con una red de grupos de investigación en nano-medicina. El cuadro 6 muestra la distribución de los grupos de acuerdo a los tópicos abordados en cada país.

Cuadro 6: Grupos de investigación de nano medicina por tópico en países seleccionados

| Tópico | Argentina ⁶ | Brasil ⁷ | México ⁸ | Chile ⁹ | Colombia ¹⁰ | Uruguay ¹¹ | Total AL | % |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|----------|------|
| Diagnostico | 1 | 10 | 12 | 1 | 0 | 3 | 27 | 13.8 |
| Terapia, fármacos y vacunas | 15 | 62 | 24 | 7 | 1 | 1 | 110 | 56.4 |
| Medicina regenerativa | 1 | 4 | 2 | 0 | 1 | 1 | 9 | 4.6 |
| Biomateriales y partículas metálicas | 1 | 24 | 13 | 1 | 0 | 2 | 41 | 21.0 |
| Otros y no específicos | 2 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 8 | 4.1 |
| Total | 20 | 100 | 57 | 9 | 2 | 7 | 195 | 100 |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

El principal tópico de investigación de estos grupos corresponde con el de las publicaciones: terapias, fármacos y vacunas cubriendo 56.4 % de todos los grupos. Sin embargo, en segundo lugar aparece biomateriales y partículas metálicas, que está escasamente representado en las publicaciones y, como fue dicho, está más vinculado a investigación básica. La presencia de grupos de investigación en el tópico de medicina regenerativa es marginal, con menos del 5 %, al igual que ocurre con las publicaciones. Mientras que Brasil, México y Uruguay tienen presencia de grupos en todos los tópicos, en el caso de Argentina y Chile los investigadores se concentran en terapia, fármacos y vacunas.

Los datos presentados permiten inferir que existe un importante caudal de equipos de investigación y artículos producidos en el campo de la nano-medicine en América Latina, lo cual muestra que las agendas de investigación de la región incorporaran temas relacionados a la salud humana, especialmente el desarrollo de drogas, vacunas y terapias. Son temas con un amplio potencial de impacto social, especialmente si los resultados de la investigación prosiguen su curso hacia los sistemas públicos de salud que atienden a la mayoría de la población de la región, cuestión que aún es muy temprano para evaluar. Sin embargo, no puede dejar de ser notada la fuerte concentración de las publicaciones científicas en

⁶ FAN database (FAN, 2012).

⁷ CNPq Grupos de Pesquisa Database (CNPQ, 2013). Fueron contabilizados 77 grupos de investigación en nanomedicina. Sin embargo, en grupos de investigación muy numerosos con líneas de investigación bien definidas en más de una temática, fueron registradas las dos líneas de investigación más significativas, contabilizándose, así, un total de 100 grupos.

⁸ Promep, UNAM, IPN, CINVESTAV, Centros CONACYT, Government Research Centers, and others

⁹ Universidad de Chile, Universidad de Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Andrés Bello, Universidad de Talca.

¹⁰ COLCIENCIAS Grupos de investigación.

¹¹ Universidad de la República, Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Instituto Pasteur de Montevideo, Universidad ORT.

Brasil y de los grupos de investigación en Brasil y México. Ello naturalmente se vincula al tamaño y trayectorias científicas de estos países y no significa ausencia de capacidades en otros países, como por ejemplo en la Argentina donde la investigación en nano medicina es un área destacada dentro de la investigación en nanotecnología. Hay aún capacidades importantes en países medianos y pequeños como Chile y Uruguay. Entretanto, encontramos una tendencia aún débil de formación de redes de investigación en la región. La mayoría de las cooperaciones (medidas por co-autorías) son bilaterales. La construcción de redes de investigación multilaterales más densas en torno a problemas clave de la región ampliaría, sin duda, el impacto de los resultados. Lo mismo puede decirse de la ampliación de la cooperación con otras regiones a través de esas redes que podrían generar mayor involucramiento de los científicos de América Latina en temáticas relativamente poco abordadas actualmente, como diagnóstico y medicina regenerativa.

Energía

La aplicación de las nanotecnologías al sector de energía es de rápido crecimiento, en especial con relación a energías alternativas. Ello se debe, por un lado, a la preocupación con el agotamiento de las fuentes no renovables y, por otro, a que muchas de las energías fósiles son altamente contaminantes. El reto de modificar el patrón energético hacia energías limpias y renovables ha impulsado la búsqueda de aplicaciones nanotecnológicas en el sector. Según la National Nanotechnology Initiative de los Estados Unidos algunas posibles aplicaciones de la nanotecnología en fuentes de energía renovables son: paneles solares, nano bio-ingeniería de encimas para permitir la conversión de celulosa en etanol, baterías más livianas y potentes, membranas de hidrógeno y almacenamiento, reutilización de desechos caloríficos en computadoras, automóviles y otros en energía eléctrica útil, materiales más resistentes para energía eólica y otros usos, cables capaces de transporte más eficiente de energía (National Nanotechnology Initiative, n.d.).

Las nanotecnologías pueden insertarse en todas las fases de la cadena de valor del sector energético, desde la fuente energética primaria hasta su uso final, pasando por la conversión, distribución y almacenamiento. Para efectos de nuestra investigación hemos distinguido los tópicos de: energía fósil, solar y fotovoltaica, almacenamiento y transporte, siguiendo un criterio establecido en la literatura (Jordan, Kaiser, & Moore, 2014).

El estudio cubre desde la primera publicación sobre nano energía identificada en el año 1994 y hasta el año 2012, donde la consulta a la WoS reveló un total de 816 artículos. El cuadro 7 muestra la distribución de las publicaciones por país. Dado que muchos artículos fueron co-autorados con más de un país registrado, los artículos fueron contabilizados por país incluido en la co-autoría.

Cuadro 7: Artículos científicos en nano energía por país

| País | Artículos | % de 816 |
|------------------------------|-----------|----------|
| Brazil | 354 | 43,38 % |
| Mexico | 239 | 29,29 % |
| Argentina | 112 | 13,73 % |
| Chile | 52 | 6,37 % |
| Colombia | 37 | 4,53 % |
| Uruguay | 21 | 2,57 % |
| Cuba | 20 | 2,45 % |
| Venezuela | 15 | 1,84 % |
| Peru | 4 | 0,49 % |
| Barbados | 3 | 0,37 % |
| Costa Rica | 2 | 0,25 % |
| Trinidad & Tobago | 1 | 0,12 % |
| Bolivia | 1 | 0,12 % |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014).

* Aunque el número total de artículos es de 816, los artículos de la segunda columna fueron contados más de una vez si los autores pertenecían a más de un país.

Los resultados confirman la fuerte concentración de la producción de nuevo conocimiento en Brasil y México. Brasil es responsable por un total de 354 artículos. México es segundo con 239 artículos. En tercer lugar está Argentina, con 112 artículos producidos.

En el Cuadro 8 puede observarse la distribución de las publicaciones por tópicos. Dado que algunos artículos fueron clasificados en más de un tópico y que el propósito no es medir la cantidad sino la distribución por tema, la suma de artículos alcanza 853, y la distribución porcentual en la tercera columna fue realizada con base en ese valor.

Cuadro 8: Artículos científicos en nano energía por tópico

| Tópico | Artículos | % de 853* |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Fotovoltaico | 306 | 35.87 |
| Energía fósil | 268 | 31.42 |
| Almacenamiento y Transporte | 279 | 32.71 |
| Otros y no especificado | 0 | 00.00 |
| Total | 853 | 100.0 % |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

* Algunos artículos fueron contabilizados más de una vez cuando cubrían más de un tópico de investigación.

Los tres tópicos tienen una distribución muy equilibrada, constituyendo prácticamente un tercio de las publicaciones cada uno de ellos. Sin embargo, la evolución en los últimos años, entre 2008 y 2012, muestra que el tópico de fotovoltaico crece más rápidamente que los otros (Cuadro 9). Es importante advertir, no obstante, que indicadores de patentes a nivel mundial muestran que a partir del año 2012 ocurre un estancamiento del registro para fotovoltaico, lo cual puede ser un indicador de la reducción de interés en la investigación o una transición hacia la comercialización como señala Jordan et al (2014). La investigación en energías fósiles, aún muy importantes en la región, recibe considerable atención en las publicaciones científicas, así como la investigación en almacenamiento y transporte, transversal a cualquier tipo de energía.

Cuadro 9: Nano energía. Crecimiento relativo por tópico entre 2008 y 2012

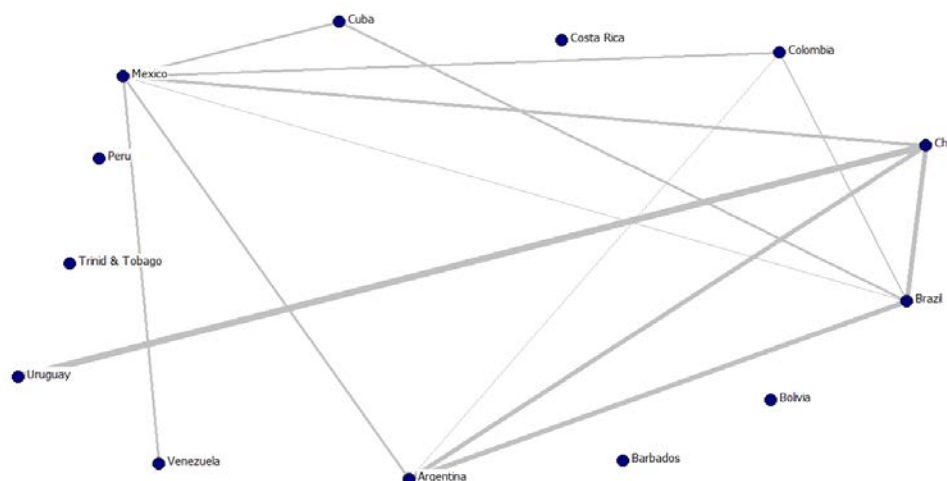
| Tópico | Artículos 2008 | Artículos 2012 | 2008 = 100 |
|-----------------------------|----------------|----------------|------------|
| Energía fósil | 21 | 34 | 162 |
| Solar y fotovoltaico | 24 | 62 | 258 |
| Almacenamiento y transporte | 35 | 42 | 120 |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

El principal colaborador científico de fuera de la región en las investigaciones sobre nano energía es Estados Unidos; el 20.83 % del total de los artículos publicados ha sido en coautoría con investigadores de ese país. Los países que más establecieron colaboraciones con Estados Unidos son México, Brasil y Argentina. Enseguida sobresalen las colaboraciones con países europeos como España (12.87 % de los artículos publicados), Alemania (6.99 %), Francia (5.27 %) e Italia (4.90 %). Las relaciones de colaboración científica con Europa que más sobresalen son las de España con México y con Uruguay y, en menor medida, con Argentina, Brasil, Chile y Colombia, así como las colaboraciones entre Francia y Alemania con Brasil. Inglaterra ha mantenido relaciones importantes con Brasil, Argentina y México.

La Figura 2 exhibe las colaboraciones científicas dentro de la región latinoamericana y caribeña, identificadas a partir de las co-autorías de los artículos publicados. Las redes de colaboración son más intensas (líneas más gruesas) entre Uruguay y Chile, Argentina y Brasil, Argentina y Chile, Brasil y Chile. Se puede observar en esta red que cinco países de la región no han desarrollado nuevos conocimientos en nano energía en colaboración con otros países de la región.

Figura 2: Redes de colaboración científica en nano-energía en la región de América Latina y el Caribe hasta el año 2012



Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

En lo que se refiere a los grupos de investigación en nano energía, el Cuadro 10 resume la investigación manual realizada a partir de las páginas Web institucionales.

Cuadro 10: Grupos de investigación de nano energía por tópico en países seleccionados

| Tópico | Argentina ¹² | Brasil ¹³ | México ¹⁴ | Chile ¹⁵ | Colombia ¹⁶ | Uy ¹⁷ | Total | % |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------|-------|-------|
| Energía fósil | 2 | 5 | 16 | | 1 | 0 | 24 | 11.9 |
| Solar y fotovoltaica | 6 | 18 | 39 | 1 | 1 | 9 | 74 | 36.8 |
| Almacenamiento y transporte | 5 | 7 | 31 | 1 | 0 | 2 | 46 | 22.9 |
| Otros y no específicos | 12 | 17 | 20 | 1 | 5 | 2 | 57 | 28.3 |
| Total | 25 | 47 | 106 | 3 | 7 | 13 | 201 | 100.0 |

¹² ITBA, UNRC, INCAPE, INIFTA, CAB-CNEA, INCAPE, CNEA NSAM, UBA, INTA

¹³ CNPq Grupos de Pesquisa Database(CNPQ, 2013)

¹⁴ Promep, UNAM, IPN, CINVESTAV, Centros CONACYT, Government Research Centers, and others

¹⁵ Universidad de Santiago de Chile, Universidad de Concepción

¹⁶ Universidad Javeriana, Universidad de Medellín

¹⁷ Universidad de la República.

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

El tópico solar y fotovoltaico es el más representado en todos los países, correspondiendo con la misma tendencia captada en la información bibliométrica. México posee la mayor cantidad de grupos de investigación en nano energía, así como en energía solar y fotovoltaica, aunque ello no implique necesariamente mayor número de investigadores, pues no se tomó en cuenta el tamaño de los grupos. Se destaca también la importancia del tema en un país pequeño como Uruguay. En todos los países llama la atención la cantidad de grupos de investigación catalogados en el rubro "Otros y no específicos", lo cual podría ser resultado de grupos que realizan investigación básica dirigida al sector energético pero sin especificación clara de su potencial aplicación.

Así como en el caso de nano medicina, la investigación sobre aplicaciones de la nanotecnología en el sector de energía ha sido dinámicamente incorporada a las agendas de investigación de la región. Los temas clave a nivel mundial, referentes a energías renovables y optimización del transporte y distribución de energía están presentes, así como la aplicación de la nanotecnología en el sector de energías fósiles, especialmente en México y Brasil. A diferencia del caso anterior, en nano energía encontramos mayor colaboración de los investigadores en redes internacionales (medida por el número de co-autorías), especialmente con investigadores de los Estados Unidos y algunos países europeos. Encontramos también redes de colaboración un poco más densas dentro de la región. Sin duda, se trata de un tema que atiende demandas presentes en todo el mundo, y que ha recibido considerable financiamiento en los países más industrializados. Es bastante plausible que las agendas locales estén muy vinculadas a las de esos países, y un desafío que se coloca para viabilizar su impacto potencial para mejorar las condiciones de vida y tornar más sustentable la matriz energética en América Latina es el grado de autonomía tecnológica que resulte del avance de la I&D en el área por los países de la región.

Agua

El acceso a agua potable y saneamiento básico han sido considerados dentro de los Objetivos del Milenio. América Latina es una de las regiones del mundo más favorecidas en términos de recursos hídricos, concentrando el 30 % del escurrimiento superficial mundial de agua. Los sistemas de distribución permiten que el acceso al agua alcance al 94 % de la población, y el acceso a saneamiento al 80 %; lo cual significa que restan 35 millones (6 %) aún sin acceso a agua potable

segura, y otros 118 millones (20 %) sin acceso a saneamiento mejorado¹⁸ (datos de OMS/UNICEF para 2010, citados en Mahlkecht & Pastén Zapata, 2013).

Sin embargo, una serie de factores permiten vislumbrar grandes problemas en un futuro inmediato. Más del 70 % de la población descarga las aguas residuales sin tratamiento alguno, con los consecuentes problemas de salud y para los ecosistemas (Mahlkecht & Pastén Zapata, 2013). Cerca del 68 % de la electricidad es generada con recursos hídricos, y la creciente producción agrícola demanda el grueso del uso del agua. Ambos destinos productivos compiten muchas veces con el agua destinada al consumo doméstico.

Las nanotecnologías ofrecen diversas alternativas en materia de tratamiento de agua. Entre éstas están las membranas de nano-filtración, la nano-catálisis para desinfectar, la desalinización, y diversos tipos de sensores para detectar y medir contaminantes (OECD, 2011). Según la OECD la nano-filtración es el área dominante de I&D a nivel mundial (OECD, 2011).¹⁹

El estudio realizado registró 435 artículos científicos publicados sobre nano-agua desde la primera publicación sobre el tema hasta el año 2012 (Cuadro 11). Observamos que este campo de investigación ha producido cerca de la mitad de las publicaciones científicas verificadas en las áreas de nano medicina y nano energía. Los resultados obtenidos soportan que la emergencia de este campo en la región es naciente, dado que en el tópico de potabilización de agua las primeras publicaciones aparecen en los años noventa, y en el tópico de remediación los primeros artículos comienzan a ser publicados en la década siguiente. Luego del 2005 publicaciones en ambos tópicos comienzan a incrementarse. Encontramos que 13 países en la región de América Latina y el Caribe tienen publicaciones en el tema. Brasil ha producido la mayor cantidad (360), revelando una concentración significativa de la investigación. La segunda posición corresponde a México con 136 artículos, seguido de Argentina con 90 artículos y Chile con 56.

¹⁸El concepto de "segura" y "mejorado" se refiere a agua entubada con llaves de acceso, y drenaje que aseguren la separación del excremento del contacto humano.

¹⁹ "Filtration was the dominant application in 2007 at about 43 %, but desalination and irrigation are expected to deliver the most revolutionary results by 2015 and thereafter" (OECD, 2011, p. 17)

Cuadro 11: Frecuencia de artículos publicados por país en el campo de nano agua en América Latina y el Caribe hasta 2012

| País | Artículos | % de 435* |
|-----------|-----------|-----------|
| Brasil | 360 | 82.76 |
| México | 136 | 31.26 |
| Argentina | 90 | 20.69 |
| Chile | 56 | 12.87 |
| Colombia | 19 | 4.37 |
| Venezuela | 10 | 2.30 |
| Cuba | 9 | 2.07 |
| Uruguay | 8 | 1.84 |
| Peru | 5 | 1.15 |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

* Aunque el total de artículos es de 435, los artículos de la segunda columna fueron contados más de una vez si los autores pertenecía a más de un país.

Al analizar las publicaciones científicas por tópico (Cuadro 12), y dado que algunos artículos fueron clasificados en más de un sector, y que el propósito no es medir la cantidad sino la distribución por tema, la suma de la columna de "artículos" alcanza los 487 artículos que es el número tomado como total de referencia en ese Cuadro 12. Los resultados muestran que el área de remediación ha recibido la mayor atención, con un total de 257 artículos publicados, o 52.8 % del total. El tema de potabilización le sigue de cerca, con 47.2 % de los artículos publicados. Mientras que sólo tres artículos fueron publicados en desalinización y fueron incluidos dentro del tópico de potabilización.

Cuadro 12: Artículos científicos en nano agua por tópico

| Tópico | Artículos | % de 487 |
|------------------------|-----------|----------|
| Remediación | 257 | 52.8 |
| Potabilización | 230 | 47.2 |
| Otros y no específicos | 0 | 0.0 |
| Total | 487 | 100.0 |

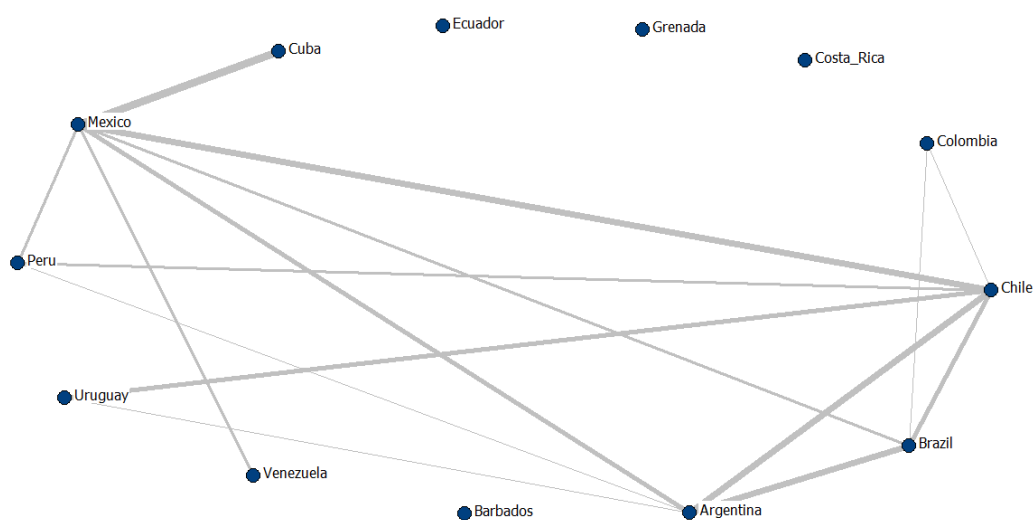
Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

En lo que se refiere a la configuración de redes de investigación con países de fuera de la región, la posición ocupada por los Estados Unidos es prominente, donde 75 artículos de un total de 435 (17 %) fueron co-autorados entre investigadores de la región y de los Estados Unidos. Los Estados Unidos mantienen relaciones de cooperación científica principalmente con Brasil, México y Argentina. Mientras que

las colaboraciones de la región de América Latina y el Caribe con países de la Comunidad Europea son menos intentas. 37 artículos han sido co-autorados con investigadores de España, 34 con investigadores de Francia, 23 con investigadores de Portugal y 19 con investigadores de Alemania. Debe resaltarse que Brasil ha mantenido un número mayor de colaboraciones con países de Europa que con países de la propia región.

La Figura 3 muestra las colaboraciones dentro de la región de América Latina y el Caribe en el tema de nano agua. Las colaboraciones más estrechas se dan entre México y Cuba, México y Chile, y Chile con Argentina. Respecto de Brasil, y a pesar de ser el país que ha producido la mayor cantidad de artículos en la región, sus colaboraciones con otros países en este tema son reducidas. Mientras que México y Chile son los países de la región que han mantenido colaboración sostenida con otros países de la región.

Figura 3: Red de colaboraciones científicas en el campo de nano agua en la región de América Latina y el Caribe hasta 2012



Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

Con relación a los grupos de investigación sobre nano agua, la Cuadro 13 consolida la información recabada en los países seleccionados. Como fue advertido anteriormente, la cantidad de grupos no refleja la cantidad de miembros ni el equipamiento y trayectoria de cada grupo, por lo cual el interés debe centrarse en el porcentaje de distribución temática de las investigaciones anotado en la última columna.

Cuadro 11: Grupos de investigación por tópicos de nano agua en países seleccionados

| Tópicos | Argentina ²⁰ | Brasil ²¹ | México ²² | Chile ²³ | Colombia ²⁴ | Uy ²⁵ | Total | % |
|------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------|-------|-------|
| Remediación | 10 | 16 | 28 | 1 | 2 | 1 | 58 | 85.3 |
| Potabilización | 0 | 6 | 3 | 1 | 0 | 0 | 10 | 14.7 |
| Otros y no específicos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 |
| Total | 10 | 22 | 31 | 2 | 2 | 1 | 68 | 100.0 |

Fuente: Elaboración propia en base a *NMP-DeLA Mapping* (2014)

Fue registrada una abrumadora presencia de grupos de investigación sobre remediación ambiental, que contrasta con los resultados de la información bibliométrica, donde la distribución entre artículos sobre remediación y sobre potabilización es de 1.1 a 1 respectivamente, mientras según la información de grupos de investigación es de 5.8 a 1 respectivamente. Ello puede explicarse en parte por la declaración de los objetivos de investigación de los grupos, los cuales pueden tener como foco principal la investigación sobre remediación, pero también incluir actividades en potabilización.

Es importante destacar el caudal de artículos y grupos de investigación relacionados con el tópico de remediación de cursos de agua, siendo que, como anotamos, es el principal problema relacionado a agua en América Latina y con tendencia a agudizarse. Los problemas de contaminación de cursos de agua abarcan muy diferentes causas, lugares y complejidad. Muchos están asociados a los contaminantes tóxicos derivados de la minería y/o de los pesticidas agrícolas, pero también está la contaminación derivada de la basura de las ciudades y desechos industriales. El desarrollo de sistemas de remediación eficientes con nanotecnología puede constituir un buen aliado de políticas que incentiven la reversión de prácticas contaminantes. Aunque la investigación sobre nano agua es más reciente en la región, las capacidades humanas y las colaboraciones científicas están desarrollándose en correspondencia con las demandas de la región. Hay aquí un importante potencial para abordar problemas de salud y ambientales vinculados al agua que tienen a afectar cada vez más a la población de la región.

²⁰ ITBA, UNRC, INCAPE, INIFTA, CAB-CNEA, INCAPE, CNEA NSAM, UBA, INTA

²¹ CNPq Grupos de Pesquisa Database(CNPQ, 2013)

²² Promep, UNAM, IPN, CINVESTAV, Centros CONACYT, Government Research Centers, and others

²³ Universidad de Santiago de Chile, Universidad de Concepción

²⁴ Universidad Javeriana, Universidad de Medellín

²⁵ Universidad de la República.

Conclusiones

La investigación en nanotecnología aplicada a las áreas de medicina, energía y agua viene desarrollándose desde la década pasada en varios países de América Latina. El crecimiento de las publicaciones en las tres áreas desde mediados de 2000 y la organización de un número significativo de grupos de investigación revelan la construcción de capacidades locales, tanto en términos de recursos humanos como de laboratorios. Por lo tanto, la pregunta de si pueden los países en desarrollo sumarse a una nueva onda tecnológica podría ser respondida positivamente, aunque sólo para algunos de los países de la región latinoamericana. Tales capacidades constituyen una condición necesaria para pensar la contribución que estas áreas pueden hacer para elevar las condiciones de vida en la región. Varios desafíos se colocan, no obstante, para crear condiciones suficientes.

Una de ellas es buscar vías de superar las desigualdades de capacidades. Por un lado, la información analizada revela grandes disparidades regionales, con una muy fuerte concentración de actividades en Brasil, y en seguida México, que son los países más grandes y con trayectorias científicas sistemáticas. Encontramos una situación intermedia en Argentina, Chile y Colombia con tendencia a fortalecerse y varios otros países con competencias más fragmentarias. Por otro lado, los datos muestran una débil colaboración regional, más de tipo bilateral que en red. Ciertamente, acuerdos internacionales podrían estimular proyectos en red en torno a temas clave con amplio impacto social para todos los países de la región.

Otra cuestión que se coloca es si las agendas de investigación atienden a los problemas regionales. Tanto a partir del análisis temático más general brindado por las publicaciones como el análisis individual de cada grupo de investigación tienden a indicar que buena parte de las investigaciones en curso en nano medicina, nano energía y nano agua están sintonizadas con demandas locales. Sin embargo, no es posible argumentar que el camino seguirá un curso inexorable hacia productos y servicios que efectivamente atiendan tales demandas. En gran medida, las investigaciones en curso se hallan aún en fases bastante básicas, que hacen difícil prever su impacto en productos y procesos. Además, todos los países de la región presentan un perfil persistente de baja capacidad de innovación. Sin la mediación de políticas activas que aseguren la construcción de las cadenas de valor capaces de llevar la investigación a productos finales difícilmente el potencial se realice. Las tres áreas en cuestión son particularmente sensibles al estímulo de políticas por ser sectores parcial o totalmente regulados y en varios países con inversión productiva por parte del Estado. A modo de ejemplo, algunos países, como Brasil, México y Argentina, mantienen importantes institutos públicos de investigación y producción de medicamentos que pueden actuar como plataforma de producción para los sistemas públicos de salud.

Anexo: términos de búsqueda

Nano medicina

| Tópicos | Términos |
|--------------------|---|
| Drug delivery | TS=((nano* and ((liposome*) or ("polymeric drug*") or ("drug polymer conjugate") or ("protein polymer conjugate") or ("pegylated protein*"))) or ((drug) and ((nanoparticle*) or (nanocapsule*) or (nanosuspension*) or (nanocrystal*) or ("gold nanoparticle*") or ("colloidal gold") or ("silicate nanoparticle*") or ("calcium nanoparticle*") or (biosilic*) or ("titanium dioxide nanoparticle*") or ("solid lipid nanoparticle*"))) AND CU=(mexico or brazil or venezuela or argentina or chile or colombia or peru or paraguay or panama or nicaragua or jamaica or honduras or haiti or belize or belice or guyana or guatemala or french guiana or granada or grenada or ecuador or dominican rep or cuba or costa rica or bolivia or barbados or bahamas or uruguay or "trinidad tobago" or surinam or puerto rico or salvador or martinique or st lucia or st vincent or antigua barbu or trin tobago or trinidad tabago or guadeloupe). |
| Drugs and therapy | TS=((fullerene drug*) or (dendrimer drug*) or (nanoshell* and (phototherap* and "hypothermal therap*")) or (magnetic nanoparticle* and hyperthermal therap*)) AND CU=(mexico or brazil or venezuela or argentina or chile or colombia or peru or paraguay or panama or nicaragua or jamaica or honduras or haiti or belize or belice or guyana or guatemala or french guiana or granada or grenada or ecuador or dominican rep or cuba or costa rica or bolivia or barbados or bahamas or uruguay or "trinidad tobago" or surinam or puerto rico or salvador or martinique or st lucia or st vincent or antigua barbu or trin tobago or trinidad tabago or guadeloupe). |
| In vivo imaging | TS=((superparamagnetic iron oxide) or ("ultra-small superparamagnetic iron oxide") or ("monocrystalline iron oxide nanoparticle*") or (cross-linked iron oxide nanoparticle*) or (liposome and ultrasound) or (nanoparticle* and nuclear imaging) or (nanoparticle* and optical imaging) or (nanoshell* and optical imaging) or (quantum dot* and optical imaging)) and CU=(mexico or brazil or venezuela or argentina or chile or colombia or peru or paraguay or panama or nicaragua or jamaica or honduras or haiti or belize or belice or guyana or guatemala or french guiana or granada or grenada or ecuador or dominican rep or cuba or costa rica or bolivia or barbados or bahamas or uruguay or "trinidad tobago" or surinam or puerto rico or salvador or martinique or st lucia or st vincent or antigua barbu or trin tobago or trinidad tabago or guadeloupe). |
| Medical biosensors | TS=((("medical biosensor*") or ("surface plasmon resonance" and biosensor*) or (cantilever biochip*) or ("DNA chip*" and "electrical detection") or (nanoarray* and diagnostic*) or ("quantum dot*" and diagnostic*) or ("gold nanoparticle*" and diagnostic*) or ("magnetic nanoparticle*" and diagnostic*) or ("lab on a chip")) and CU=(mexico or brazil or venezuela or argentina or chile or colombia or peru or paraguay or panama or nicaragua or jamaica or honduras or haiti or belize or belice or guyana or guatemala or french guiana or granada or grenada or ecuador or dominican rep or cuba or costa rica or bolivia or barbados or bahamas or uruguay or "trinidad tobago" or surinam or puerto rico or salvador or martinique or st lucia or st vincent or antigua barbu or trin tobago or trinidad tabago or guadeloupe). |
| Implants | TS=((("bone cement*" and nanostructure*) or ("dental implant*" and nanocomposite*) or ("orthopedic implant*" and nanostructure*) or ("cardiovascular implant*" and nanostructure*) or ("tissue engineering" and nanostructure*) or ("silver nanoparticle*" and (implant* or "wound dressing*")) or (biomarker* and nano*)) and CU=(mexico or brazil or venezuela or argentina or chile or colombia or peru or paraguay or panama or nicaragua or jamaica or honduras or haiti or belize or belice or guyana or guatemala or french guiana or granada or grenada or ecuador or dominican rep or cuba or costa rica or bolivia or barbados or bahamas or uruguay or "trinidad tobago" or surinam or puerto rico or salvador or martinique or st lucia or st vincent or antigua barbu or trin tobago or trinidad tabago or guadeloupe). |
| | TS=((("electronic drug delivery system*" and nanotechnolog*) or ("neural prosthesis" and nanotechnolog*)) and CU=(mexico or brazil or venezuela or argentina or chile or colombia or peru or paraguay or panama or nicaragua or jamaica or honduras or haiti or belize or belice or guyana or guatemala or french guiana or granada or grenada or ecuador or dominican rep or cuba or costa rica or bolivia or barbados or bahamas or uruguay or "trinidad tobago" or surinam or puerto rico or salvador or martinique or st lucia or st vincent or antigua barbu or trin tobago or trinidad tabago or guadeloupe). |
| | TS=(nanomedicine*) and CU=(mexico or brazil or venezuela or argentina or chile or colombia or peru or paraguay or panama or nicaragua or jamaica or honduras or haiti or belize or belice or guyana or guatemala or french guiana or granada or grenada or ecuador or dominican rep or cuba or costa rica or bolivia or barbados or bahamas or uruguay or "trinidad tobago" or surinam or puerto rico or salvador or martinique or st lucia or st vincent or antigua barbu or trin tobago or trinidad tabago or guadeloupe). |
| | #8 OR #7 OR #6 OR #5 OR #4 OR #3 OR #2 OR #1. |

Nano energía

| Tópicos | Términos |
|------------------|---|
| Energy storage | ((nano* and (energ* or power)) and ("battery" or "batteries" or "fuel cell" or "energy storage")) |
| Energy transport | ((nano* and (energ* or power)) and ("condenser*" or capacitor or "wire*" or "lighting")) |
| Fossil fuels | ((nano* and (energ* or power)) and (fuel* or petroleum or "gas" or (catalys* and petroleum) or (catalys* and natural gas) or (catalys* and "shale gas") or (catalys* and oil) and (catalys* and "shale oil")) |
| Wind energy | ((nano* and ("wind power" or "energ* eolic")) or (nano* and (("wind" or "eolic") and ("light material*")))) |
| Photovoltaic | (nano* and ("solar cell*" or "photovoltaic" or "solar energ*" or "solar power")) |

Nano agua

| Tópico | Términos |
|----------------------------------|---|
| Water remediation (contaminated) | ((("treatment" or "wastewater" or "disinfection" or "pollutant" or "pollution" or "groundwater" or "pesticide remediation") and water and nano*)) |
| Water potabilization | ((("membrane filtration" or "freshwater" or "natural" or "reverse osmosis" or "drink*" or "nanoporous polymeric materials" or nanofiltration" or "brackish" or "desalination" or "saltwater" or "seawater") and water and nano*)) |

References

- Barbosa, F. (2012). Programa de Nanotecnología. Presented at the 2do Workshop Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios, Fortaleza. Retrieved from http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1336677327.pdf
- Brahic, C. (2005, February 11). Developing world “needs nanotech network.” *SciDev.Net*. Retrieved from <http://www.scidev.net/global/technology/news/developing-world-needs-nanotech-network.html>
- Brahic, C., & Dickson, D. (2005a, February 21). Helping the poor: the real challenge of nanotech. *SciDev.Net*. Retrieved from <http://www.scidev.net/content/editorials/eng/helping-the-poor-the-real-challenge-of-nanotech.cfm>
- Brahic, C., & Dickson, D. (2005b, February 21). Helping the poor: the real challenge of nanotech. *SciDev.Net*. Retrieved from <http://www.scidev.net/content/editorials/eng/helping-the-poor-the-real-challenge-of-nanotech.cfm>
- Calestous, J., & Yee-Cheong, L. (Eds.). (2005). *Innovation: applying knowledge in development*. London: Earthscan. Retrieved from www.unmillenniumproject.org/documents/Science-complete.pdf Visited
- Chiancone, A. (2012). Nanociencia y nanotecnologías en Uruguay: áreas estratégicas y temáticas grupales. In *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* (Foladori, G.; Invernizzi, N & Záyago, E). México, DF: Miguel Angel Porrúa.
- CNPQ. (2013). Directorio de Grupos de Pesquisa no Brasil. Retrieved November 22, 2013, from <http://dgp.cnpq.br/diretorio/>
- Cozzens, S., Castillo, R., & et al. (2012). *Equity, Equality and National Contexts: The US and South Africa as Environments for Nanotechnologies*. Presented at the SNet Society for the Study of Nanotechnology and Emerging Technologies, University of Twente. Retrieved from http://www.utwente.nl/igs/conference/2012_snet_conference/presentaties/1501/25102012_cozzens_etal.pdf
- Cozzens, S., Cortés, R., Soumonni, O., & Woodson, T. O. (2013). Nanotechnology and the millennium development goals: water, energy, and agri-food. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(2001). <http://doi.org/10.1007/s11051-013-2001-y>
- Crow, M., & Sarewitz, D. (2001). Nanotechnology and Societal Transformation. In *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Arlington, Virginia: National Science Foundation. Retrieved from http://nanosioe.ee.ntu.edu.tw/Download/Course.../@@@Nanoelectronics/links/NanoReport_nano/Societal%20Implications%20of%20Nanoscience%20and%20Nanotechnology%28Nsf200103%29%E2%98%85.pdf#page=53

- ETC group. (2003). The Big Down: Atomtech - Technologies Converging at the Nano-scale. ETC (Erosion Technology and Concentration). Retrieved from <http://www.etcgroup.org/content/big-down-0>
- ETC group. (2004, November). La invasión invisible del campo. El impacto de las tecnologías nanoscópicas en la alimentación y agricultura. ETC (Erosion Technology and Concentration). Retrieved from http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/80/02/etc_dotfarm2004.pdf
- ETP Nanomedicine–NANOMED2020. (2013, May). Contribution of Nanomedicine to Horizon 2020. NanoMedicine European Technology Platform. Retrieved from <http://www.etp-nanomedicine.eu/public/press-documents/publications/etpn-publications/etpn-white-paper-H2020>
- FAN. (2012). *Quién es quién en nanotecnología*. Buenos Aires: Fundación Argentina de Nanotecnología.
- Foladori, G. (2013). Nanotechnology Policies in Latin America: Risks to Health and Environment. *Nanoethics*, 7(2), 135–147. <http://doi.org/10.1007/s11569-013-0178-2>
- Foladori, G., Figueroa, S., Záyago, E., & Invernizzi, N. (2012a). Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. *Sociológicas*, 14(30), 330–363.
- Foladori, G., Figueroa, S., Záyago, E., & Invernizzi, N. (2012b). Nanotechnology: Distinctive Features in Latin America. *Nanotechnology Law & Business Journal*, 9, 88–103.
- Hassan, M. H. A. (2005). NANOTECHNOLOGY: Small Things and Big Changes in the Developing World. *Science*, 309(5731), 65–66. <http://doi.org/10.1126/science.1111138>
- INEGI. (n.d.). Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico y Módulo sobre Actividades de Biotecnología y Nanotecnología (ESIDET-MBN) 2012. Retrieved March 4, 2014, from http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/establecimientos/otras/esidet_mbn/default.aspx
- Invernizzi, N. (2010). Science Policy and Social Inclusion: Advances and Limits of Brazilian Nanotechnology Policy. In *Yearbook of Nanotechnology in Society* (Vol. Vol II: The Challenges of Equity, Equality and Development, pp. 291–307). New York: Springer.
- Invernizzi, N., Foladori, G., & Maclurcan, D. (2008). Nanotechnology's Controversial Role for the South. *Science, Technology & Society*, 13(1), 123–148. <http://doi.org/10.1177/097172180701300105>
- Invernizzi, N., Hubert, M., & Vinck, D. (2014). Nanoscience and nanotechnology: how an emerging area on the scientific agenda of the core countries has been adopted and transformed in Latin America. In *Beyond imported magic. Essays on science, technology and society in Latin America*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Invernizzi, N., Korbes, C., & Fuck, M. P. (2012). Política de nanotecnología en Brasil: a 10 años de las primeras redes. In G. Foladori, E. Záyago, & N. Invernizzi, (Eds.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. México, DF.

- Jordan, C. C., Kaiser, I. N., & Moore, V. C. (2014). 2013 Nanotechnology Patent Literature Review: Graphitic Carbon-Based Nanotechnology and Energy Applications Are on the Rise. *Nanotechnology Law & Business*, 11(2), 111–125.
- Juma, C., & Yee-Cheong, L. (Eds.). (2005). *Innovation: applying knowledge in development*. London: Earthscan. Retrieved from www.unmillenniumproject.org/documents/Science-complete.pdf Visited
- Khang, D., Carpenter, J., Chun, Y. W., Pareta, R., & Webster, T. J. (2010). Nanotechnology for regenerative medicine. *Biomedical Microdevices*, 12(4), 575–587. <http://doi.org/10.1007/s10544-008-9264-6>
- Leach, M., & Scoones, I. (2006). *The slow race. Making technology work for the poor*. London: Demos.
- Mahlknecht, J., & Pastén Zapata, E. (Coord). (2013). *Diagnóstico de los Recursos Hídricos en América Latina*. Monterrey, México: Centro del Agua para América Latina y el Caribe.
- Meridian Institute. (2005a). Global Dialogue on Nanotechnology and the Poor - Meridian Institute. Retrieved February 18, 2015, from <http://www.merid.org/nano>
- Meridian Institute. (2005b, January). white papers with text - Global Dialogue on Nanotechnology and the Poor Opportunities and Risks.pdf. Meridian Institute. Retrieved from https://docs.merid.org/SITECORE_DOCS/Global%20Dialogue%20on%20Nanotechnology%20and%20the%20Poor%20Opportunities%20and%20Risks.pdf
- Mnyusiwalla, A., Daar, A. S., & Singer, P. A. (2003). Mind the gap : science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology*, 14(3), R9–R13. <http://doi.org/10.1088/0957-4484/14/3/201>
- Naciones Unidas. (2014). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2014. Naciones Unidas. Retrieved from http://www.undp.org/content/dam/undp/library/MDG/spanish/UNDP_MDGReport_SP_2014Final1.pdf
- National Nanotechnology Initiative. (n.d.). Benefits and Applications | Nano. Retrieved October 22, 2014, from <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>
- OECD. (2011). Fostering nanotechnology to address global challenges. Water. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). Retrieved from <http://www.oecd.org/sti/nano/47601818.pdf>
- Plentz, F. (2013, September). *Brazilian Nanotechnology Initiative*. Presented at the Workshop Nanotecnologia e Sociedade na América Latina. Nanotecnologia e Trabalho, Curitiba, UFPR.
- Royal Society (Great Britain), R. A. of E. (Great B. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. London: Royal Society : Royal Academy of Engineering.
- Saini, R., Saini, S., & Sharma, S. (2010). Nanotechnology: The future medicine. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*, 3(1), 32. <http://doi.org/10.4103/0974-2077.63301>

- Salamanca-Buentello, F., Persad, D. ., Court, E. ., Martin, D. ., Daar, A. ., & Singer, P. (2005). Nanotechnology and the Developing World. *PLoS Medicine*, 2(5). Retrieved from <http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097>
- Sarewitz, D. (2009). Pas de Trois: Science, Technology and the Marketplace. In *Technology and Society. Building our Sociotechnical Future*. Cambridge, Mass; London, England: MIT Press.
- Singla, H., & Singla, N. (2014). Novel role of nanotechnology in medicine. *International Journal of Biomedical Research*, 5(8), 482–486.
- Spivak L'Hoste, A., Hubert, M., Figueroa, S., & Andrini, L. (2012). La estructura de La investigación argentina em nanociencia y nanotecnología: balances y perspectivas. In G. Foladori, E. Záyago, & N. Invernizzi (Eds.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. México, DF: Miguel Angel Porrúa.
- UNESCO. (2006). The Ethics and politics of nanotechnology; 2007 - 145951e.pdf. UNESCO. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951e.pdf>
- VVAA. (2014). *NMP-DeLA. Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies. Deployment in Latin American Countries*. FP7-NMP-2013-CSA-7. EU 7th Framework Programme.
- Wagner, V., Hüsing, B., Gaisser, S., & Bock, A. (2008). Nanomedicine: Drivers for development and possible impacts. European Science and Technology Observatory. Retrieved from <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC46744.pdf>
- Wilsdon, J., & Willis, R. (2004). *See-Through Science. Why public engagement needs to move upstream*. London: Demos.
- Záyago Lau, E. (2011). A Nanotech Cluster in Nuevo Leon, Mexico. Reflections on its Social Significance. *Nanotehcnoogy Law and Business Journal*, 8(1), 49–59.