

ARTÍCULO

DIVULGACIÓN DE IMPLICACIONES SOCIALES Y AMBIENTALES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS

Miguel García Guerrero y Guillermo Foladori

Divulgación de implicaciones sociales y ambientales de las nanotecnologías

Resumen

Durante la última década las nanociencias y nanotecnologías han asumido un rol protagónico a nivel mundial debido a su impacto científico, en el sistema productivo y en la sociedad en su conjunto. Cada vez son mayores los apoyos –públicos y privados– dedicados a estos temas y también aumenta día con día el número de productos en el mercado que incorporan materiales nanofabricados. Ante esta situación, las actividades de divulgación científica relacionadas con Nanotecnología cobran una gran relevancia; inciden en la postura del público no especializado y en sus decisiones respecto de la vida cotidiana.

Un aspecto clave para la construcción de una ciudadanía informada y científicamente culta es la oferta de información completa; se trata de poner a disposición del público tanto las ventajas como los riesgos del uso de nanotecnologías. Sin embargo, con frecuencia esto no ocurre. Típicamente la comunicación pública de estos temas se ve dominada por un enfoque entusiasta, casi propagandístico, que –centrado en las grandes ventajas y el enorme potencial de desarrollo de estas tecnologías convergentes– hace a un lado los peligros que pueden traer consigo.

La Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) es un organismo internacional dedicado al estudio de los impactos de las nanotecnologías en nuestra región. A partir de la preocupación –de diversos organismos internacionales de índole técnica, social y laboral– por la falta de una adecuada divulgación de los riesgos de esta revolución tecnocientífica, la ReLANS decidió emprender un esfuerzo para dar a conocer a diferentes sectores del público los principales riesgos inherentes al desarrollo de las nanotecnologías. La primera parte de esta labor culminó con la publicación del cuadernillo “Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe”, publicado en español, portugués e inglés, que sirve como punta de lanza para una estrategia de comunicación pública del tema (Foladori, Invernizzi & Bejarano, 2012).

Palabras clave: Divulgación de Nanotecnología; riesgos; impacto social y ambiental.

Divuligation of social and environmental implications of nanotechnology

Abstract

During the last decade, nanoscience and nanotechnology have taken a leading role in the world because of its scientific impact in the production system and in the society as a whole. There is growing supports –public and private–, devoted to these topics and also increases day by day the number of products on the market that incorporate materials made by nanoscience. In this situation, scientific activities related to Nanotechnology outreach great relevance; affect the position of the lay public and decisions about everyday life.

One key to build an informed and scientifically literate citizens is offering complete information, it is available to the public both the benefits and risks of using nanotechnology. However, this does not happen often. Typically the public communication of these issues is dominated by an enthusiastic approach, almost propaganda, which concentrated on the great advantages and the huge development potential of these converging technologies, pushes away the dangers that can bring.

The Latin American Network for Nanotechnology and Society is an international organization dedicated to the study of the impacts of nanotechnologies in our region. Since the concern –of several international organizations, technical, social and labor– for the lack of adequate disclosure of the risks of this techno scientific revolution, the Latin American Network for Nanotechnology and Society decided to undertake an effort to raise awareness to different sectors of the public key risks inherent in the development of nanotechnologies. The first part of this work culminated in the publication of the booklet “Social and environmental implications of nanotechnology development in Latin America and the Caribbean”, published in Spanish, Portuguese and English, which serves as a spearhead for a public communication strategy topic (Foladori, Invernizzi & Bejarano, 2012).

Keywords: Divuligation of Nanotechnology; risks; social and environmental impact.

Introducción

A lo largo de la última década las nanociencias y nanotecnologías han presentado un crecimiento importante, lo mismo en el sector académico que en el productivo. Esto refleja el carácter estratégico que han adquirido en las agendas públicas y privadas como un motor de desarrollo. La consultora *Científica* estima que los gobiernos del mundo han invertido en torno de 10 mil millones de dólares en investigación y desarrollo en esta área en 2011 (Científica, 2011). Su enorme versatilidad, así como la penetración que los productos nanofabricados tienen en el mercado –WWICS estimó

1,317 líneas de productos en el mercado en 2011— ya perfilan a la Nanotecnología como la principal revolución tecnocientífica del siglo XXI. Y se trata de una revolución singular.



Fotografía: Diego Materazzi.

La Nanotecnología se encuentra mucho menos ligada que las anteriores tecnologías a un campo disciplinar; requiere conocimientos y contempla avances en campos como la física, química, biología, y computación. Se trata, entonces, de una tecnología eminentemente convergente (Roco & Bainbridge, 2003).

Asociar estos aportes tan variados a la misma tecnología sería como incluir en la misma categoría a una jeringa, un lápiz labial y un apuntador láser sólo por tratarse de objetos con tamaños semejantes. Para las nanotecnologías —con todos sus enfoques y aplicaciones— sólo existe un factor de convergencia que se encuentra en el tamaño: la dimensión nano.

El trabajo de estas nuevas tecnologías consiste en la creación de materiales, dispositivos y sistemas útiles a través de la manipulación de la materia a escala atómica y molecular. Esto

comprende objetos con tamaños entre 1 y 100 nanómetros. Un nanómetro mide 0.00000001 metros (10^{-9} m), es decir, se trata de la millonésima parte de un milímetro. Para tomar una mejor idea del tamaño al que nos referimos, vale la pena tomar un poco de perspectiva. Un grano de azúcar morena mide alrededor de 1 milímetro de diámetro (1 millón de nanómetros), mientras el cabello humano promedio tiene un grosor diez veces más pequeño (0.0001 metros). Las células de piel humana miden alrededor de 30 micras (30,000 nanómetros) y las mitocondrias de las células tienen un grosor de unos 1000 nanómetros (1 micra). Algunos virus —como el del sida y la influenza— tienen un tamaño de 100 nanómetros y los anticuerpos que defienden nuestro organismo de agentes externos rondan los 12 nanómetros.

Ya estamos en el tamaño de interés, pero para observar este tipo de objetos no es posible usar microscopios ópticos o incluso electrónicos: se necesitan aparatos todavía más sofisticados. A pesar de que en sentido estricto a éstos podríamos llamarles nanoscopios, en realidad se les conoce como microscopios de fuerza atómica. Se trata de aparatos que exploran la superficie de un material a nivel molecular o incluso de átomos individuales. Gracias a estos aparatos, creados en los laboratorios de IBM a inicios de la década de 1980, es posible observar —entre muchas otras cosas— la molécula de la glucosa (azúcar) que mide aproximadamente un nanómetro y el átomo de

cloro, con un diámetro de 0.1 nanómetros.

Precisamente la aparición de los microscopios de fuerza atómica fue una especie de banderazo para el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías. Aunque una importante idea que condujo a estos avances fue planteada por el físico norteamericano Richard Feynman en 1959, por lo general se identifica el inicio real del trabajo en la materia con la creación de los “nanoscopios”. Gracias a estos aparatos por primera vez se hizo posible observar y manipular la materia con una precisión prácticamente atómica.

Y así las cosas se pusieron realmente interesantes. A esta escala la materia presenta propiedades muy distintas a las que podemos encontrar en la vida cotidiana: entran en juego los principios de la mecánica cuántica, los ajustes en el acomodo de átomos y moléculas pueden cambiar radicalmente las propiedades de un material y, además, cuando crece el área de contacto entre materiales también aumenta su reactividad química. Todo esto se puede aprovechar para un enorme número de aplicaciones que van de la biología a la ciencia de los materiales, la electrónica y la química, por mencionar algunos campos.

La divulgación científica y las nanotecnologías

La condición transdisciplinar representa un importante reto para los esfuerzos de investigación y desarrollo en la materia y, al mismo tiempo, para los procesos educativos asociados a la Nanotecnología. Esto comprende tanto contextos formales, esencialmente escolares y asociados a la formación de una fuerza laboral capaz de desarrollar las diferentes tareas que el campo demanda, como las estrategias no formales, orientadas al desarrollo de una cultura científica y el apoyo a una ciudadanía informada. Aquí es donde entra en acción la divulgación de la ciencia.

Actualmente nadie pone en duda la importancia que la ciencia y la tecnología juegan en nuestro mundo; sus descubrimientos e inventos llevan cientos de años transformando radicalmente la forma en que trabajamos, nos comunicamos y vivimos. Lejos de reducirse, la influencia de la ciencia en nuestras vidas crece día con día. Pero con todo y esto se trata de algo ajeno, casi esotérico, para la mayoría de las personas. Y es que el ritmo de crecimiento que la ciencia ha presentado en los últimos 50 años, por sí mismo, constituye una importante limitante para que el público desconocedor del tema se mantenga informado.

La principal barrera de acceso se encuentra en el manejo de la comunicación científica. Los investigadores, cuando dan a conocer sus trabajos, utilizan un lenguaje altamente codificado, difícil de entender para aquellos ajenos a la ciencia o a una de sus especialidades. La comunicación entre especialistas –llamada difusión– resulta inaccesible para la inmensa mayoría de las personas, con lo que parecería imposible que el público no especializado se acerque a las actividades científicas (García, 2010).

A través de la definición de Chamizo (2002) podemos concebir a la divulgación de la ciencia

como el esfuerzo orientado a facilitar el acceso del público no especializado a la forma en que se lleva a cabo el quehacer científico, así como sus resultados, los métodos que se emplean para llegar a un descubrimiento, la importancia que un determinado avance científico tiene para el resto de la sociedad y la diferencia entre la ciencia y otros conocimientos. Pero no solo se trata de un trabajo meramente descriptivo, el ideal es construir puentes de comunicación entre la ciencia y el público no especializado en las que cobra relevancia la influencia de la primera sobre la vida cotidiana de las personas; la forma en que puede cambiarles la vida.



Fotografía: Ana Anvica

Y se trata de un trabajo que se encuentra lejos de ser completado. “El mayor problema actual de la divulgación de la ciencia en el mundo puede ser el retraso que sufre, si se compara con los avances gigantescos de la ciencia y la tecnología y con su influencia creciente y decisiva en el individuo y en los grupos sociales de nuestra época y, sobre todo, del futuro inmediato.” (Calvo, 2002)

La afirmación de Calvo resulta cierta para avances científico-tecnológicos que tienen décadas o hasta siglos de aplicación –como puede ser el caso de la electricidad, la termodinámica o la física cuántica, por mencionar algunos ejemplos– y más aún para avances tan recientes como las nanociencias y nanotecnologías que apenas llegan a sus primeros 30 años de vida.

En principio las acciones de comunicación pública del tema deberían dar a conocer la dimensión de trabajo de la Nanotecnología, sus principios generales, las aplicaciones y productos disponibles en la actualidad, así como posibles beneficios futuros y principales factores de riesgo.

Sin embargo, tal como sucede con la ciencia en general, con frecuencia la labor de divulgación adopta un enfoque excesivamente optimista –casi propagandístico– que maximiza las bondades y rara vez toma en cuenta los riesgos de las nanotecnologías. Y es que no importa lo maravillosas que resulten las propiedades de un nuevo hallazgo, el hecho ineludible es que toda

nueva tecnología supone riesgos y las nanotecnologías no son la excepción.

En la comunicación pública de la Nanotecnología se presenta una situación semejante a la que encontramos en el sistema productivo: muchos productos se desarrollan e introducen al mercado antes de realizar exámenes de toxicidad tanto para la salud humana como para el medio ambiente. No existe una reglamentación que garantice su completa seguridad ni un sistema de etiquetado que permita a los consumidores libre elección sobre el uso de productos nanofabricados.

En la divulgación muchas veces se ofrece información parcial al público, resaltando los beneficios que pueden encontrarse en los nuevos avances: sin contemplar –sea por desconocimiento o conveniencia– los impactos no buscados pero perjudiciales que puedan tener. El entusiasmo por los posibles beneficios limita el desarrollo de un análisis crítico sobre sus desventajas.

Lo anterior bien puede deberse al interés de instituciones académicas por procurar fondos para proyectos en temas de nanociencia y nanotecnología; pues la existencia de elementos de riesgo podría inhibir el apoyo para la investigación. Sin embargo, cualquiera que sea la fuente de los recursos necesarios, gubernamental o privada– el respaldo para los proyectos debe surgir de una decisión bien informada.

Se debe privilegiar un enfoque cauto, que ayude a evitar situaciones de riesgo para sacar un máximo provecho de las nanotecnologías. Aquí entra en juego el *principio de precaución*, que señala: “Cuando las actividades humanas llevan a un perjuicio moralmente inaceptable, que sea científicamente plausible, aunque incierto, deben tomarse acciones para evitar o disminuir dicho daño” (PPw, s/f) Básicamente esto es lo opuesto de lo que se observa actualmente; los productos con elementos nanofabricados se introducen al mercado y, si sobre la marcha se comprueban riesgos, entonces tal vez se retiran.

El principio de precaución obligaría a llevar a cabo estudios científicos sobre los riesgos antes de introducir los productos al mercado. Obviamente esto implica costos, pero sin duda sería más caro repetir experiencias como las de los productos con materiales radiactivos o la construcción con asbesto que causaron y siguen causando problemas a la salud de cientos de miles de personas.

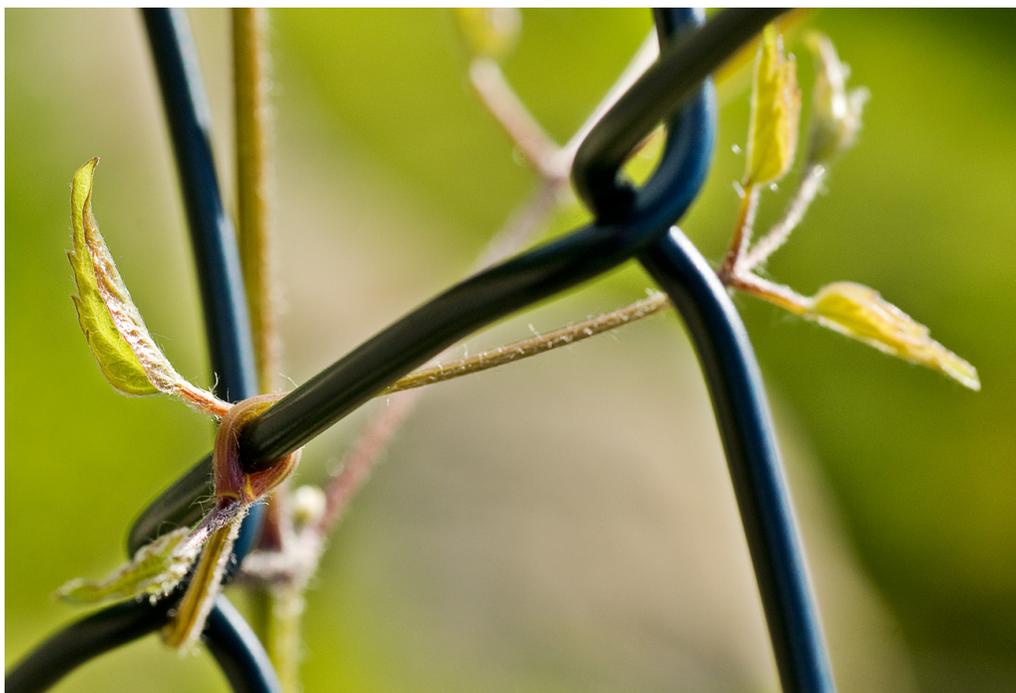
La divulgación de los riesgos de las nanotecnologías

Tomando en cuenta que día con día crece el número de productos con materiales nanofabricados disponibles en el mercado –los cuales incluyen alimentos, cosméticos, electrodomésticos, equipos de cómputo, teléfonos, medicinas, textiles, cerámicas y materiales de construcción, entre otros– la importancia de conocer las principales ventajas y factores de riesgo implícitos a estas nuevas tecnologías crece para el grueso de la población consumidora y para los trabajadores involucrados en la cadena productiva.

Esto resulta de especial importancia para aquellos sectores expuestos, vinculados

directamente a las actividades de investigación y desarrollo con nanopartículas, así como a la elaboración de productos que las contienen y también los sectores ligados al transporte, mantenimiento de instalaciones donde se investiga y produce y quienes trabajan en el manejo de los desechos y basura. Todo análisis de riesgo debe incluir los diferentes aspectos del ciclo de vida; lo que pasa con el producto durante su uso y posteriormente con sus restos, una vez que no se usa. Las personas involucradas deben estar conscientes de los peligros a los que se exponen y las medidas de precaución que deben tomar. Veamos algunos ejemplos.

Uno de los grandes problemas mundiales es la falta de acceso a suficiente agua potable. Durante las próxima dos décadas más del 40% de la población mundial carecerá de fuentes accesibles de agua potable. Las nanotecnologías ya están siendo aplicadas para remediar tal problema. Los filtros y membranas que purifican el agua con los procedimientos convencionales están siendo mejorados con nanopartículas, que por su tamaño y función permiten purificar el agua contaminada, retirando materia orgánica, metales tóxicos, cloro y bacterias. Otra aplicación para obtener agua potable es la desalinización. Esto, que ya se venía haciendo con métodos más tradicionales, ve reducido sus costos en hasta un 70% mediante nanotecnologías (Nano4water s/f; Patterson *et al*, 2012).



Fotografía: Ana Anvica

La dependencia de tecnologías para descontaminar agua no deja de tener su contraparte cuestionable. ¿Incentivarán aún más la contaminación, habida cuenta de que ahora el problema puede ser resuelto? En tal caso, en lugar de preparar a la población y las empresas para un uso más eficiente y menos contaminante de los recursos se la prepara para una mayor dependencia de las nuevas tecnologías. Además, incentivar nanofiltros favorece el uso de nanopartículas también

en otras ramas industriales; y ya algunas instituciones en Suecia y Alemania han advertido que las nanopartículas de plata usadas en textiles y en lavadoras, y que se desprenden con su uso y terminan en el drenaje y el ambiente, podrían implicar grandes dificultades para retirarlas de los ecosistemas que constituyen la fuente de los recursos acuíferos, y recomiendan regular su uso (Arvidsson, 2012).

Los pesticidas son productos tóxicos por excelencia. La posibilidad de nanoencapsular estos productos reduce significativamente la cantidad de materia prima utilizada y, por tanto, de desperdicio tóxico que se lanza al medio ambiente. La ventaja de las nanotecnologías se extiende al procesamiento del alimento, agregando nanocápsulas de vitaminas y suplementos nutritivos que no alteran el sabor o textura de los alimentos. Y se extiende a los envases de alimentos, que mediante sensores podrán advertir al consumidor sobre el estado del producto, y facilitar su retiro de los anaqueles cuando sea necesario (Chaudhry & Castle, 2011).

Aún es necesario superar dificultades técnicas. Es discutible si las nanopartículas incorporadas a los envases no migran hacia el alimento con los cambios de temperatura y potenciales alteraciones de la forma del envase. Organizaciones civiles reclaman, por otra parte, que la pérdida de conocimiento por parte del consumidor sobre el estado de los alimentos que compra –que será una consecuencia evidente de la generalización de los nanosensores en envases– significa des-empoderamiento y mayor dependencia tecnológica. Además, estos sistemas favorecerán su expansión a productos alimenticios que no necesariamente requieren de tales controles, agregando cantidad de envases innecesarios que son, a la larga, fuente de residuos.

De administración controlada de drogas nano-encapsuladas que viajan por el organismo hasta el órgano o las células que requieren tratamiento, a implantes con alta bio-asimilación, las tecnologías están presentes en la medicina. Pero también aquí, que se supone que es una de las áreas donde la precaución es más severa, existen riesgos no resueltos. Se habla de la posibilidad de utilizar nanotubos de carbono o fullerenos para fijarlos a las células cancerígenas y matarlas de a una y sin efectos colaterales, con lo cual el cáncer se convertiría en una enfermedad plenamente tratable, pero se ha comprobado en ratones de laboratorio que nanotubos de carbono se comportan como si fuesen fibras de asbesto, produciendo cáncer (Polland, *et al*, 2008; Takagi *et al*, 2008). Desde otro punto de vista éstas y otras tecnologías que hemos mencionado constituyen lo que se ha dado en llamar dentro del vocabulario medioambiental “tecnologías *end-of-pipe*”; es decir, tecnologías que tienden a solucionar un problema pero no atacan la causa que los genera. Aunque es posible que en pocos años desarrollos nanotecnológicos permitan curar el cáncer, el hecho es que no impiden que se genere; y su incremento en las últimas décadas no es una calamidad natural; la OMS es contundente al afirmar que no sólo la mala alimentación, falta de ejercicio y ambientes contaminados ayudan a la generación del cáncer, sino que asocian varias modalidades de cáncer y otras enfermedades directamente a la exposición a químicos como el cadmio, PCBs, phthalates, mercurio, plomo o ignífugos en productos de uso cotidiano y mediante la contaminación atmosférica

y de los ecosistemas. ¡Y hay más de 144 000 sustancias químicas, de las cuales sólo 600 han sido declaradas por las Naciones Unidas como prohibidas o de venta restringida!, del resto no se tiene ni registro de composición; y la entrada de las nanopartículas complica la situación, ya que no basta con evaluaciones de riesgo basadas en la composición química, también hay que considerar la forma, superficie, tamaño y otras variables.

No hay duda de que las tecnologías son la base del desarrollo y la civilización. Pero cuando se las impulsa sin analizar sus riesgos y sin reglamentación pueden convertirse en su contrario. Recientes estudios encomendados por la OMS y el PNUD sobre los efectos a la salud y el medio ambiente de químicos en productos cotidianos y/o liberados a los ecosistemas, resultaron –en casos después de décadas por ser bioacumulables– disruptores endócrinos (por ejemplo, POPs, mercurio, plomo, tributyltin, phthalate, nonylphenol) que han causado miles y decenas de miles de muertos en los últimos años (Bergman *et al*, 2012). La OMS estima que las sustancias químicas matan 4.9 millones de personas al año, además de enfermar y/o incapacitar a otros 86 millones. Y otros estudios muestran que es más barato prevenir, mediante estudios de riesgo y normas legales que regulen el uso seguro de los productos, que pagar posteriormente los costos de salud y remediación del medio ambiente. Al tiempo que reglamentaciones más estrictas promueven la investigación en tecnologías alternativas de menor riesgo e incentivan la innovación (Tuncak, 2013).

Aunque en términos generales prevalece el desequilibrio de información de beneficios/ riesgos que hemos mencionado, ya existen esfuerzos orientados a conseguir un mayor balance. A nivel internacional encontramos un referente en la política SAICM (*Strategic Approach to International Chemicals Management*) de las Naciones Unidas. El SAICM representa el único espacio multilateral y voluntario para la discusión del tema de los riesgos de los productos químicos, incluyendo las nanopartículas manufacturadas, entre otros. En igual sentido se han manifestado múltiples sindicatos a nivel internacional, interesados por los impactos –directos o indirectos– que las nanotecnologías pueden tener en sus agremiados y los consumidores en general (ETUC, 2008; UITA, 2007).

Ante la necesidad expuesta por SAICM y otros organismos a nivel internacional, día con día aparecen esfuerzos para dar un mayor balance al contenido de la divulgación. En principio esto exige un compromiso en dos sentidos: por un lado obtener información suficiente sobre elementos peligrosos inherentes a las nanotecnologías; y por otra parte encontrar un punto justo entre la postura propagandística a favor de los avances a nivel nano y el manejo amarillista de posibles aspectos negativos.

La Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS), como parte de su compromiso social y con el apoyo de la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN), elaboró un folleto de divulgación centrado en América Latina y el Caribe, orientado a ofrecer información sobre 2 temas clave: los riesgos directos de la nanotecnología

y el posible impacto que sus avances pueden tener en el empleo.¹

Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe

La publicación *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe* fue presentada públicamente en la Ciudad de México el 7 de marzo de 2012, y ese mismo día se sometió a discusión con especialistas en el tema en el Auditorio del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, con el apoyo de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS).

El cuadernillo se encuentra disponible de forma electrónica en el sitio de [ReLANS](#), en el de IPEN (International POPs Elimination Network) y en el de la UITA. Su distribución se realiza a través de organizaciones interesadas –como la Secretaría Latinoamericana de la Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agricultura y Afines– y también en diversos eventos académicos relacionados con el tema.

El documento *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe* cuenta con 36 páginas de extensión y busca ofrecer –a través de un lenguaje accesible para el público no especializado– un panorama general de la situación de las nanotecnologías a nivel mundial y específicamente en América Latina y el Caribe. Se ofrece un balance entre los avances logrados por las nanotecnologías y los riesgos que se les han encontrado en diversos estudios científicos a lo largo de 7 secciones:

1. ¿Qué son las nanotecnologías?
2. El mercado de la nanotecnología
3. Las nanotecnologías en América Latina y el Caribe.
4. Riesgos de las nanotecnologías para la salud y el medio ambiente.
5. Exposición de trabajadores y consumidores a las nanopartículas manufacturadas.
6. Implicaciones de las nanotecnologías para el empleo.
7. El SAICM y las recomendaciones de los países de América Latina y el Caribe.

En términos de las implicaciones sociales y ambientales de estas novedosas tecnologías convergentes el documento expone tres temas clave:

a) Riesgos a la salud.

A partir de bases de datos que entre 2000 y 2010 han acumulado más de 560 artículos científicos

¹ Publicado en español, portugués e inglés. Además, y en colaboración con IPEN y el CSIR (Council for Scientific and Industrial Research) de África del Sur, se elaboró el folleto *Implicaciones Sociales y ambientales del Desarrollo de las Nanotecnologías en África*; publicado en inglés y francés (www.relans.org).

sobre los riesgos de las nanotecnologías para la salud y/o el medio ambiente, se pueden establecer referentes que invitan a una mayor precaución en las labores y los productos que involucran nanomateriales (NanoCeo, s/f; ICON, s/f) .

Debe tomarse en cuenta que los resultados de investigaciones realizadas hasta el momento son de estudios *in vitro* o en seres vivos de experimentación, realizados en laboratorio, que no se han desarrollado con seres humanos sino con ratas, peces, moscas y bacterias, entre otros. Así mismo, la disponibilidad de nanomateriales utilizada no es la misma que se encuentra en muchos de los procesos y productos, pero sin duda era importante establecer la existencia de riesgos específicos asociados a nanomateriales, y aún queda la duda de si el manejo de desechos no podría arrojar condiciones similares a las que fueron establecidas en los estudios.

De cualquier forma existen importantes llamadas de atención; como el hecho de que expertos en la materia reconocen que los procedimientos de seguridad para producción de sustancias químicas no son suficientes para los nanomateriales; o que los nanotubos de carbono –unos de los productos más versátiles y utilizados en las nanotecnologías– causan al organismo esencialmente el mismo efecto que el asbesto, funcionando como agente cancerígeno (Takagi *et al*, 2008).

b) Impacto ambiental.

Aún en el caso de que el uso indicado de productos con nanopartículas no implique riesgo para los consumidores –aunque hay indicios–, existe el problema del ciclo de vida de los materiales y las condiciones de desecho necesarias para evitar que puedan tener efectos negativos sobre el medio ambiente. Por ejemplo, la quema de basurales con textiles, baterías u otros productos con nanomateriales podría separarlos de su matriz e introducirlos a las cadenas tróficas por diferentes medios (Musee, 2009). Así mismo, materiales como dióxido de titanio y óxido de zinc, muy usados en la industria cosmética, han mostrado impactos muy negativos en peces (Federici, 2007) y se estudia también el riesgo que presenta su tamaño para la penetración en la piel de humanos (Tinkle *et al*, 2003).

Igualmente importante –o quizá aún más– a la falta de etiquetado, es la falta de regulaciones o procedimientos estandarizados para el manejo de residuos de productos que incorporan nanotecnologías.

c) Falta de conocimiento y adiestramiento a empleados.

A inicios del siglo pasado el descubrimiento de la radiactividad natural generó toda una gama de productos radiactivos que prometían maravillosas propiedades a sus usuarios; existía pasta de dientes, relojes, tónicos, estimulantes sexuales y un sinnúmero de cosas que aprovecharon el aura casi mágica que venía con la nueva tecnología. Muchos usuarios se vieron afectados por los efectos nocivos de la radiactividad pero el daño fue aún mayor en los obreros encargados de elaborar los productos, quienes no tenían idea del riesgo al que se encontraban expuestos, e inclusive en

científicos que deberían haber sido más cuidadosos.

Si bien aún no está claro que las nanotecnologías puedan implicar riesgos tan graves como los de la radiación; es un hecho que, de una u otra manera, el peligro existe y no siempre se toman las medidas necesarias para proteger a los empleados expuestos. En muchos casos ninguna persona en la compañía siquiera tiene idea de la existencia de factores nocivos. Por eso resulta de gran importancia ampliar cada vez más los círculos de comunicación de los impactos de las nanotecnologías, especialmente entre los organismos laborales que pudieran tener agremiados directamente afectados por esta situación.

d) Efectos laborales.

Cada vez que aparece una nueva tecnología, especialmente si ésta tiene un carácter revolucionario, no sólo se encarga de desplazar del mercado a los sistemas tecnológicos anteriores sino que también hace lo propio en el mundo laboral con sus productores y operarios. Esta tendencia de tecnificación con frecuencia viene acompañada de una automatización que hace prescindibles muchos puestos de trabajo, generando considerables situaciones de desempleo y esto es generalmente más agudo en los países menos desarrollados, cuya planta industrial y de servicios está menos tecnificada. Las nanotecnologías bien pueden ser un nuevo riesgo en tal sentido (Joy, 2000).

A nivel mundial –en los sectores público y privado– se han establecido fuertes compromisos para impulsar el desarrollo de las nanotecnologías, acelerar su aplicación y sacarles el mayor fruto posible. Desafortunadamente los estudios prospectivos sobre el impacto que esto puede generar sobre el mercado laboral han sido muy escasos. Como resultado no existen políticas públicas de reorientación laboral que permitan amortiguar los efectos de esta revolución, lo cual –de manera indirecta– puede generar fuertes problemas socioeconómicos.

Conclusión

Es innegable que las nanotecnologías han llegado para quedarse y sus múltiples, y benéficas, aplicaciones ayudarán a mejorar la calidad de vida de las personas si son desarrolladas y aplicadas responsablemente. Quienes promueven las nanotecnologías sugieren que podrían ayudar a resolver grandes problemas como la crisis energética, la escasez de agua potable o la forma de atacar enfermedades –como el cáncer– sin afectar al paciente.

Sin embargo sus grandes beneficios no pueden evitar que ignoremos una realidad ineludible: toda tecnología implica riesgos. Como hemos aprendido en el pasado –sea con la máquina de vapor, la radiactividad o la energía nuclear– ignorar los riesgos sólo los hace más peligrosos, mientras que asumirlos permite tomar las precauciones necesarias para no tener que pagar un costo mayor a la larga.

En muchos sectores académicos ya existe conciencia de los principales factores de riesgo, pero en general se trata de círculos altamente especializados. Para tener un mayor alcance con las medidas de prevención se debe empezar por impactar a los tomadores de decisiones en el gobierno y las empresas, las personas directamente involucradas en el apoyo para las nanotecnologías y quienes podrían exigir mayores medidas de precaución (como los sindicatos y trabajadores), así como políticas específicas de prevención de peligros, información sobre productos nanofabricados y manejo de residuos. Finalmente, pero con la misma importancia, es fundamental fortalecer los procesos dirigidos a toda la sociedad; la divulgación de una perspectiva equilibrada de las ventajas y los riesgos que implica el desarrollo de las nanotecnologías.

Es necesario construir un compromiso compartido por el Estado, los investigadores, docentes y divulgadores para establecer una estrategia integral de divulgación de la ciencia y tecnología a nivel nano, con sus ventajas y riesgos. Y tal estrategia no puede limitarse a un alcance limitado, a través de uno o dos medios, sino que requiere una estrategia integral que contemple los medios “tradicionales” de divulgación – como publicaciones, conferencias y talleres– pero también incluya los medios masivos y ponga especial atención a la trascendencia de las redes sociales en internet.

A pesar de ser un proyecto ambicioso, la publicación del folleto *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe* no representa la única meta del esfuerzo sino que pretende convertirse en el detonador de un diálogo entre sociedad, academia e industria, para generar conciencia sobre los riesgos que las nanotecnologías traen consigo y las estrategias para poder explotar sus enormes beneficios de una forma segura.

Se trata, entonces, de la punta de lanza de un esfuerzo que contempla conferencias dirigidas a diferentes sectores de la opinión pública; artículos dirigidos al público no especializado y que se enviarán para publicación en prestigiosas publicaciones de divulgación; así como información que será difundida a través de diversos medios de comunicación (prensa, radio, televisión e internet). Lo que ReLANS pretende es facilitar las condiciones para que la sociedad pueda realizar una apropiación de las nanociencias y las nanotecnologías.

Referencias

ARVIDSSON, Rickard. *Contributions to Emission, Exposure and Risk Assessment of Nanomaterials*. [En línea] Gothenburg, Sweden 2012: Chalmers University of Technology. Disponible en: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/162283.pdf>

BERGMAN, A.; Heindel, J.; Jobling, S; Kidd, K. & Zoeller, T. (Eds). *State of*

the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012. [En línea] Summary for Decision-Makers.WHO / UNEP 2012. Disponible en: http://www.unep.org/pdf/EDCs_Summary_for_DMs%20_Jan24.pdf

CALVO, Manuel. ¿Popularización de la ciencia o alfabetización científica? *Ciencias*, 100-105, 2002.

CHAMIZO, Antonio. Apuntes sobre la evaluación de la divulgación de la ciencia. En Juan Tonda et al., *Antología de la divulgación de la ciencia en México* (págs. 86-87). México: UNAM, 2002.

CHAUDHRY, Qasim, and Laurence Castle. “Food Applications of Nanotechnologies: An Overview of Opportunities and Challenges for Developing Countries.” *Trends in Food Science & Technology* 22, no. 11 (November 2011): 595–603.

Global nanotechnology funding 2011. [En línea] *Científica*, 2011. Disponible en: <http://www.cientifica.com/research/white-papers/global-nanotechnology-funding-2011/>

ETUC (European Trade Unions Conference). [En línea] 2008. *ETUC resolution on nanotechnology and nanomaterials*. Disponible en: www.etuc.org

FEDERICI, Gillian; Shaw, Benjamin J.; & Handy, Richard D. Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic Toxicology*, 84, 4, 415-430, 2007.

FOLADORI, Guillermo; Invernizzi, N. & Bejarano, F. *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe*. ReLANS / IPEN, 2012. Disponible en: www.relans.org

GARCÍA, Miguel. *Los talleres de divulgación científica como agentes para el desarrollo de una cultura científica*, Argentina, Universidad Nacional de Quilmes, 2010.

Database. [En línea] *ICON (International Council on Nanotechnology)*. (s/f). Disponible en: <http://icon.rice.edu/>

JOY, Bill. Why the future doesn't need us? [En línea] *Wired*, 8-04, 2000. Disponible en: <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>

MUSEE, N. *Proposed approach in nanotechnology risk assessment research: The South African context*. Natural Resources and the Environment, CSIR, Pretoria, 2009.

Projects. [En línea] *Nano4water* (s/f). Disponible en: <https://nano4water.vito.be/n4wprojects/Pages/n4wprojects.aspx>

Database. [En línea] *NanoCeo (Nanotechnology Citizen Engagement Organization)*. (s/f). Disponible en: www.nanoceo.net/nanorisks

PATTERSON, C., Anderson, A., Sinha, R., Muhammad, N., and Pearson, D. "Nanofiltration Membranes for Removal of Color and Pathogens in Small Public Drinking Water Sources." *J. Environ. Eng.*, 138(1), 48–57, 2012.

POLAND, C.A.; Duffin, R.; Kinloch, I; Mayonard, A.; Wallace, W.A.H.; Seaton, A.; Stone, V.; Brown, S.; MacNee, W.; Donaldson, K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology advance* online publication 18 mayo 2008

PPw (The Precautionary Principle Website). (s/f). [En línea] *The Precautionary Principle. European Union*. Disponible en: <http://www.precautionaryprinciple.eu/>

ROCO, M. & Bainbridge, W. *Converging Technologies for Improving Human Performance*. NSF/DOC-sponsored report. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.

TAKAGI, A.; Hirose, A.; Nishimura, T.; Fukumori, N.; Ogata, A.; Ohashi, N.; Kitajima, S.; Kanno, J. Induction of mesothelioma in p53^{+/-} mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube. *The Journal of Toxicological Sciences*, 33, 105-116, 2008.

TINKLE SS, Antonini JM, Rich BA, Robert JR, Salmen R, DePree K, Adkins EJ. Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease. *Environ Health Perspect* 111(9):1202–1208, 2003.

TUNCAK, Baskut. *Driving Innovation. How stronger laws help bring safer chemicals to market*. [En línea] The Center for International Environmental Law (CIEL), 2013. Disponible en: http://www.ciel.org/Publications/Innovation_Chemical_Feb2013.pdf

UITA (Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agricultura y afines). [En línea] *The IUF Resolution*, 2007. Disponible en: www.rel-uita.org

WWICS (Woodrow Wilson International Center for Scholars). [En línea] Inventory of Consumer Products. *Project on Emerging Nanotechnologies*. Washington D.C.: WWICS, 2011 Disponible en: www.nanotechproject.org/inventories/consumer/