

La gobernanza de las nanotecnologías: inversiones y análisis de riesgos

Domingo Rafael Castañeda Olvera

Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, México

Introducción

El análisis del contexto donde se desenvuelve la Investigación y Desarrollo (IyD) de las nanotecnologías (NT) constituye un caso ejemplar para comprender la problemática en los sistemas tecnocientíficos modernos a escala global.

El papel que juega este sistema en las sociedades modernas se ha vuelto fundamental para comprender las dinámicas de poder que se han establecido entre las naciones alrededor del mundo. Los grandes capitales y las más sólidas firmas transnacionales, así como los gobiernos económicamente más poderosos a nivel global, han encontrado en el desarrollo tecnocientífico un elemento medular para ejercer control económico, político e ideológico, o bien, para empoderarse. Este proceso ha llegado a tal punto que las naciones y los individuos son catalogados como modernos (o no) por el acceso al uso de los avances que la ciencia y la tecnología ofrecen en la actualidad. El rol que cada nación juega en el tablero mundial se define, en gran medida, por el desarrollo o subdesarrollo en el que se encuentra su sistema científico; este es percibido, por tanto, como un elemento clave para el papel que un país desempeña en el escenario global.

El análisis del contexto en el cual un sistema de IyD se desenvuelve ayuda a comprender, entonces, el sitio que cada nación ocupa en el tren del progreso mundial. En este trabajo de investigación, nos interesa analizar el sistema de IyD de las NT desde

la perspectiva de la gobernanza. Para ello, en el primer apartado se presenta un análisis somero de la noción de gobernanza; en el segundo apartado debatiremos la gobernanza de las NT haciendo énfasis en dos puntos: los montos de inversión y la regulación; en el tercer apartado aventuraremos algunas conclusiones sobre el tema.

Partimos del entendido que el futuro de las NT estará determinado por la manera en que se logre gestionar su potencial y, sobre todo, los riesgos asociados a la manipulación y comercialización de los productos y materiales manufacturados a escala nanométrica. Por ello, el análisis desde la gobernanza nos abre la posibilidad de entender cada uno de los elementos que conforman el nanomundo, desde las inversiones, los roles de quienes participan en ellas, el papel de las patentes, la comercialización de los nanomateriales, el etiquetado, el derecho al consumidor, la participación de la Triple Hélice, los impactos a la salud humana y al medio ambiente, entre otros elementos.

La noción de gobernanza

La gobernanza es un concepto en continuo debate al interior de las ciencias sociales. Por un lado, con esta noción se ofrece un marco analítico que nos ayuda a explicar un fenómeno global donde esencialmente se busca reinterpretar la lógica de poder en las sociedades modernas. Por otro lado, la gobernanza es entendida también como un instrumento de política pública que busca poner en marcha un escenario donde la toma de decisiones no esté centralizada ni jerarquizada, debido al nuevo rol que los estados nacionales juegan en un mundo globalizado e interconectado. Este nuevo rol atestigua cómo el poder ya no se concentra sólo alrededor de la figura del Estado, por lo que las fuerzas del mercado, las industrias, la sociedad civil, la milicia, entre otros, han logrado abrirse espacio y adquirir un rol igualmente importante en la toma de decisiones; para analizar este escenario complejo, la gobernanza se acompaña del análisis de contextos específicos con nociones como democracia deliberativa, rendición de cuentas (*accountability*), empoderamiento, políticas públicas flexibles, entre otros (Cachore, 2003; Loorbach, 2010; Fukuyama, 2013).

Es éste un nuevo fenómeno representativo del mundo globalizado moderno: los Estados-nación se han transformado y el poder *de facto* se encuentra repartido entre diferentes actores debido a que las interdependencias entre ellos han ido cambiando como resultado de las nuevas dinámicas que la globalización ha traído consigo. Gobiernos locales, estatales y nacionales comparten ahora el peso de las decisiones con empresas de carácter nacional, regional y/o internacional, con líderes financieros y transnacionales cuyos ingresos superan los presupuestos de naciones enteras, con

organismos globales con un peso específico, con *stakeholders*, con partidos políticos, grupos militares y para-militares, y organizaciones de la sociedad civil, etc. Es decir, la idea de un poder centralizado se ha vuelto insostenible en las sociedades modernas (Rhodes, 1997; Knill y Lemkhul, 2002).

Por otro lado, una de las características del ser humano moderno es su dependencia de los avances que el desarrollo tecnocientífico ofrece. Es una dependencia encaminada hacia un estilo de vida que ha generado un imaginario que deposita su confianza en el conocimiento científico; esta confianza, a su vez, se cimenta en las innovaciones tecnológicas, generando así un vínculo al parecer indisoluble entre bienestar y consumo (Assadourian, 2010; Szejnwald y Vergragt, 2016). Somos, en palabras de Zigmunt Bauman (2007), fetichistas de productos y grandes consumidores de toda aquella oferta tecnocientífica a nuestro alcance, aún de aquella que ha resultado dañina para la propia salud humana (pensemos en los químicos añadidos a productos de cuidado personal, alimentos, bebidas, etc.) y el medio ambiente (tintes, medicamentos, insecticidas, etc.). En suma, el ser humano ha creado una sociedad inmersa en una modernidad riesgosa, caracterizada por la incertidumbre y la ambigüedad que la ciencia y la tecnología (CyT) han puesto al alcance del ser humano (Beck *et al.*, 1997; Giddens, 2000; Bauman, 2003).

En este sentido, surgen nuevas dinámicas de relación entre, por un lado, los actores de las esferas política, económica y financiera y, por otro, de la académica, de los investigadores, laboratoristas y responsables de los centros de IyD. A su vez, el vínculo que guardan estos actores con la sociedad civil es fundamental para comprender el rol que la CyT tienen en relación a las problemáticas sociales que se presentan en un mundo donde conviven escenarios paradójicos: la búsqueda del pleno empleo y el desempleo generalizado, la sobreproducción alimentaria y las muertes por inanición, el crecimiento de la brecha entre ricos y pobres alrededor del mundo y las promesas de un mundo más igualitario; estos entre otros fenómenos paradójicos.

La relación que se ha forjado entre los actores que componen la denominada Triple Hélice,¹ analizada desde la perspectiva de la gobernanza, explica la desigualdad

¹ El estudio entre Estado, Universidad y Empresa es analizado como un modelo propuesto por Etzkowitz y Leydesdorff (2000). Este modelo pretende que el accionar de la Universidad sea un creador de conocimiento, que juega un papel primordial entre la relación empresa y gobierno; y como éstos se desarrollan para crear innovación en las organizaciones como fuente de creación del conocimiento. Este modelo es un proceso intelectual orientado a visualizar la evolución de las relaciones entre universidad/sociedad, y por otro lado caracterizado por la intervención de la universidad en los procesos económicos y sociales.

en los sistemas tecnocientíficos. De ahí que analizar una esfera compleja como la de la CyT en un mundo donde el poder se ejerce por diferentes actores con intereses directamente involucrados en esta esfera, deba hacerse con enfoques analíticos que observen las relaciones en diferentes niveles y bajo nociones que expliquen diferentes tipos de empoderamiento. La gobernanza nos ofrece esa posibilidad.

Por lo tanto, si bien académicamente hay un debate intenso sobre su concepción, sobre su alcance y su metodología, podríamos sugerir que la gobernanza es un instrumento de política pública eficaz que busca establecer puentes entre los sistemas liberales modernos y los de protección social (Pierre y Peters, 2000). Es un concepto que no se entendería sino bajo la sombra de la era neoliberal y de un mundo globalizado, que busca involucrar en la toma de decisiones a los sectores sociales; la gobernanza, entonces, exige una participación amplia de actores en el afán de buscar un desarrollo donde se involucren los intereses y las iniciativas de la sociedad, la academia, el Estado y las empresas (Muñoz, 2005). En una visión sistémica, este concepto suele acompañarse de términos cobijados bajo la visión de la modernidad reflexiva (Beck, 1997): riesgo, incertidumbre, peligro, ambigüedad, glocalización, etc.

Por gobernanza entendemos, pues, la puesta en marcha de formas de gobierno que busquen ensalzar de manera sustentable el valor de lo público dentro del escenario de relación de la Triple Hélice. En este sentido, esta forma de gobierno debe generar los marcos regulatorios que garanticen la participación pública. El Estado no debe asumir un papel estático, ya que las cuotas de poder en las sociedades modernas se encuentran difuminadas en diferentes actores y en diferentes niveles, por lo que la negociación aparece como un elemento insalvable para la toma de decisiones (Swyngedouw, 2005). Sin embargo, aplicar estas nociones que la gobernanza trae consigo a un sistema como el tecnocientífico implica transformar algunas dinámicas de relación tradicionales propias del sistema mismo.

El desarrollo de la CyT en el siglo XX siguió un modelo lineal. En su análisis sobre dicho modelo, Smits y Kuhlmann (2004) detectan cómo las conexiones entre ciencia, investigación, desarrollo e innovación siguen un patrón lineal. Este sistema de desarrollo del conocimiento científico explica cómo las organizaciones generan innovaciones (“sistemas de innovación”), y agendas tecnocientíficas (Echevarría, 2005), al mismo tiempo que logran analizar las múltiples funciones que sus actores han tenido que fungir; es decir, los investigadores tienen que ser hoy en día gestores, políticos, usuarios, evaluadores, promotores, generadores de redes, etc., dentro del mismo sistema.

A la vez, la esfera tecnocientífica no ha sido ajena a la mercantilización que el neoliberalismo y la globalización han impuesto a toda esfera de acción humana. Este fenómeno ha colocado a los investigadores y expertos ante un escenario doble: por una parte, ha aumentado su participación en áreas empresariales relacionadas con las asesorías (el aumento de las patentes tiene su explicación en este punto), y por otro se ha abierto una crítica desde la sociedad respecto a la independencia de las investigaciones, sobre todo de los investigadores, y su dependencia al capital (Giddens, 2000).

Este dilema ha generado un debate intenso sobre el futuro de la IyD en todo campo científico, ya que por un lado se afirma que ésta será guiada por los intereses empresariales y de los grandes capitales globales quienes generalmente no velan por la resolución de problemáticas de las mayorías, y por otro se sigue depositando confianza y seguridad tanto en la generación de conocimiento como en el surgimiento de nuevas aplicaciones tecnológicas; paradójicamente, el clima de inseguridad y desconfianza globales ante el futuro incierto es, en gran medida, resultado de los efectos colaterales que dicho desarrollo tecnocientífico ha traído consigo (Beck, 2002). Lo cierto es que el esquema de la Triple Hélice nos ayuda a comprender el impulso que en una nación recibe la IyD. De ahí la importancia de un juego de fuerzas democrático, participativo y donde las condiciones para llevar a cabo la investigación sean iguales. Es esa la importancia de la Triple Hélice en las sociedades que se consideran *modernas*.

Es en estas sociedades modernas (o, en palabras de Ulrich Beck, sociedades segundo modernas o reflexivas), donde el progreso tecnocientífico despliega todo su potencial y la relación Triple Hélice mantiene un equilibrio tal que las necesidades sociales, los intereses industriales y los proyectos de investigación se mantienen en una misma línea y generalmente bajo una misma dirección; por su parte, las sociedades que no han abordado el tren de progreso de manera medianamente exitosa presentan una Triple Hélice rota, donde generalmente los intereses industriales, las demandas sociales y los proyectos de investigación toman rumbos diferenciados y pocas veces efectivos.

De ahí que enfoques como la gobernanza busquen comprender cómo se generan estas dinámicas de relación entre los actores globales/locales, y cómo se establecen nuevos códigos de conducta y de normalización en un contexto caracterizado por el alto riesgo, donde el progreso tecnocientífico ha generado un mundo con mayor conocimiento y oportunidades, pero a la vez con grandes incertidumbres a escala global (crisis financieras cíclicas, armamentismo incontrolado,

constantes violaciones a los derechos humanos, cambio climático y calentamiento global, surgimiento de nuevas enfermedades, etc.).

Para los fines de esta investigación, con la noción de gobernanza buscamos analizar y explicar cómo interactúan aquellos actores que se encuentran implicados en el sistema de IyD en las NT (gobierno, firmas globales, centros de investigación, laboratorios, universidades, sindicatos, organizaciones de la sociedad civil, consumidores, investigadores independientes, tomadores de decisión, etc.), su empoderamiento en base al destino que las inversiones en NT existen, así como su capacidad de gestionar los riesgos que este paquete tecnológico ha traído y traerá consigo.

Las nanotecnologías: entre las promesas y los riesgos

Así como la noción de gobernanza está enmarcada por un debate sobre su definición misma, las NT se encuentran inmersas en una discusión similar. Desde el nacimiento mismo del término en los años sesenta hasta su incorporación a los cuerpos de investigación en la década de los años noventa (Hulla *et al.*, 2015), la delimitación del mundo nanométrico—su comprensión, manipulación, explotación y comercialización—se encuentra en constante debate.

Para esta investigación, entenderemos por nanotecnologías al estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a escala nanométrica (10^{-9}), así como la explotación de fenómenos y propiedades de la materia a escala nano.² Cuando se logra manipular la materia en esta dimensión, presenta fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Por lo tanto, la esfera científica especializada utiliza las NT para crear materiales, aparatos, dispositivos y sistemas novedosos, muchas veces menos costosos y con propiedades únicas.

Algunos ejemplos: el grafeno, que es una de las formas en las que el carbón se presenta, a escala nanométrica es más resistente que el acero y, al ser polivalente, es mucho mejor conductor que el cobre, es más económico, ligero y flexible. La plata, que ha sido utilizada a lo largo de la historia por su capacidad bactericida, a escala nanométrica adquiere la habilidad de penetrar distintas membranas biológicas como la pared bacteriana, incrementando sus efectos bactericidas. La incorporación de

² Esta definición proviene de lo estipulado por la *National Nanotechnology Initiative* norteamericana (<https://www.nano.gov/>) y de la Royal Society inglesa (2004).

nanopartículas de sílice al acero lo hacen más sólido y logra retardar el proceso de oxidación, hecho que las convierte en un material altamente solicitado en industrias de fuerte desgaste de materiales como la petroquímica, la siderúrgica y de la construcción.

El listado del potencial de las NT es largo. De ahí que diferentes ramas industriales que utilizan estos y otros materiales han virado su atención hacia el mundo de los nuevos materiales que las NT ofrecen, ya que optimizan sus métodos de producción, los productos en sí mismos, y les hacen más rentables (Chen *et al.*, 2007). Este carácter disruptivo las ha colocado en la punta de lanza de la nueva revolución tecnológica mundial (Barrero, 2011).

Ahora bien, un discurso que ha acompañado a las NT se basa en la idea de que este paquete tecnológico tendrá un impacto favorable en las poblaciones más vulnerables en el mundo ya que, en muchos sentidos, pueden dirigirse a atacar problemáticas ligadas a la pobreza, la marginación y la desigualdad (McGrail, 2010). Sin embargo, desde el enfoque de la gobernanza, podemos aseverar que las NT están sirviendo como un factor de diferenciación socioeconómico entre las naciones que tienen acceso a ellas y aquellas que no lo tienen, como consecuencia de la estructura jerárquica que los sistemas de CyT poseen a nivel global. Este hecho se refleja en diferentes indicadores: desde los montos de inversión que se destinan a la IyD en esta área (Roco, 2005), la regulación a la que se puede someter su implementación en las diferentes etapas de la cadena de valor a través de nanoincorporaciones (Záyago *et al.*, 2013), la normatividad sobre su comercialización que incluye el debido etiquetado (Farokhsad y Langer, 2009), así como la participación (o no) de todos los actores involucrados en cada una de estas etapas (Selin, 2007).

El análisis desde la gobernanza sobre la dinámica que se establece al interior del sistema de CyT alrededor de las NT puede abarcar diferentes puntos: la deliberación pública (Macnaghten *et al.*, 2005), la promoción de las actividades de IyD e innovación (Anzaldo *et al.*, 2014), la regulación alrededor de los impactos a la salud y al medioambiente (Delgado, 2007; Anzaldo *et al.*, 2014), la implementación de políticas públicas (Foladori, 2016), la influencia en el desarrollo (Mendoza y Rodríguez-López, 2007; Cozzens y Wetmore, 2011), los impactos económicos (Delgado, 2008), los impactos en el empleo (Foladori *et al.*, 2013), entre muchos otros.

Nos enfocaremos en analizar en esta investigación dos aspectos donde la gobernanza puede aportar elementos de debate: la inversión que se destina a la IyD en NT como factor de diferenciación, y en la regulación para gestionar los impactos a la salud humana y al medio ambiente.

La inversión en NT

Los montos de inversión que se destinan para la IyD de las NT no sólo reflejan el papel que cada nación juega en el tablero mundial, sino que acentúa la franja que separa a los países que tienen acceso (o no) a las bonanzas que el desarrollo tecnocientífico trae consigo. Desde el esquema de la gobernanza, el planteamiento de que las NT reducirían la brecha que el conocimiento científico ha generado es puesto en el tapete de la discusión.

La inversión global en esta esfera ha alcanzado cifras sin precedentes. Según el *Global Nanotechnology Market Outlook*, el monto de inversión pública y privada para las NT bordeará los 75.8 billones de dólares (bdd) en el 2020 alrededor del mundo.³ Si consideramos que en el 2000 la inversión giraba alrededor de los 20 bdd,⁴ el incremento en 20 años ha sido descomunal. Alrededor del orbe, las opiniones sobre la necesidad de que los gobiernos invirtieran en lo que se conoce ya como la cuarta revolución industrial abundaron.⁵

Cifras de la *National Science Foundation* aseguran que el mercado de productos nanotecnologizados o con nanoincorporaciones en 2015 alcanzó los 30 bdd a nivel mundial.⁶ Estas cifras coinciden con lo que reporta *BCC Research*, quien señala que en 2016 la cifra giró alrededor de los 39.2 bdd, y alcanzará 90.5 bdd en 2021, con un crecimiento anual alrededor del 18%.⁷ No sorprende entonces que tanto los gobiernos de las naciones líderes en el mundo, así como las grandes firmas industriales, hayan guiado sus iniciativas científicas y sus inversiones al impulso de este nuevo paquete tecnológico desde principios de este siglo.

³ Véase <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-nanotechnology-market-outlook-2015-2020---industry-will-grow-to-reach-us-758-billion-507155671.html>

⁴ Véase <http://www.nanotech-now.com/vc-firms.htm>

⁵ “La primera revolución fue sobre el agua y el vapor. La segunda fue sobre la electricidad y la producción en masa. La tercera aprovechó la electrónica y la tecnología de la información para automatizar la producción. Ahora es el turno de la inteligencia artificial, la nanotecnología, la biotecnología, la ciencia de los materiales, la impresión 3D, la computación cuántica para transformar la economía global”. Larry Elliot, “Governments have to invest in the fourth industrial revolution,” *The Guardian*, 16/07/2017 [23 de mayo de 2018].

⁶ Véase <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3946>

⁷ Véase <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-market-products-applications-report-nan031g.html>

El modelo norteamericano es, sin duda, el referente a escala global de inversión en CyT. El gobierno de los EEUU invirtió 1.5 bdd en 2016 a las NT.⁸ La IyD patrocinada por la *National Nanotechnology Initiative* (NNI) estadounidense destinó el gasto en ese año en cinco áreas consideradas estratégicas: Iniciativas de Firmas en NT (NSIs, por sus siglas en inglés), 251.5 millones de dólares (mdd) (lo que representa el 17% del presupuesto); Investigación Fundamental, 512.4 mdd (alrededor del 34.2%); Aplicaciones, Dispositivos y Sistemas Habilitados a Nanoescala, 385.8 mdd (alrededor del 25.7%); Instrumentación e Infraestructura para Investigación, 240.2 mdd (16.1%); y Seguridad, Salud y Medio Ambiente, 105.4 mdd (7%).⁹

Desde 2009, China se ha convertido en el segundo país con mayor inversión a nivel mundial en CyT. De 2005 a 2010, el gobierno chino destinó casi 180 bdd al desarrollo tecnocientífico,¹⁰ con un apoyo a una gran diversidad de empresas con giro nanotecnológico¹¹ y a centros de investigación con un amplio abanico de IyD acerca de esta temática.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) señala que los países asiáticos de avanzada encabezados por Israel, Japón y Corea del Sur invirtieron alrededor del 5% de su Producto Interno Bruto (PIB) a la CyT en 2015.¹² En su listado, los diez siguientes países con altas inversiones son europeos: Suecia, Austria, Suiza, Dinamarca, Alemania, Finlandia, Bélgica, Francia, Islandia y Eslovenia. Estas naciones invirtieron entre 3.3 y 2.2 de su PIB para CyT.¹³ En contraste, la lista de la OCDE finaliza con los tres países latinoamericanos que pertenecen a este organismo: Argentina, México y Chile, quienes invierten 0.6% (los dos primeros) y 0.4% de su PIB, pese a las constantes recomendaciones hechas por este organismo de que el sistema de

⁸ Véase <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2768287/>

⁹ Véase <https://www.aaas.org/fy16budget/national-nanotechnology-investment-fy-2016-budget>

¹⁰ Véase <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3545>

¹¹ *Arry, Nano Powder Re&D Center, Timesnano, EPRUI Nanoparticles and Microspheres Co. Ltd., FCC, Haizisi Nano Technology, Hefei Kaier Nanometer Energy and Technology Ltd., Nano Medtech, Sun Nanotech, TiPE, XP Nano, Nano and Advanced Materials Institute Limited (NAMI)*, entre otros. Véase <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3545>

¹² Véase http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/science-and-technology/oecd-science-technology-and-industry-scoreboard-2015_sti_scoreboard-2015-en#page97

¹³ Véase <http://www.oecd.org/centrodemexico/estadisticas/>

CyT de una nación debe contar con al menos el 1% del PIB anual para generar patrones de competitividad a escala global.¹⁴

Una gran parte de estos montos de inversión estuvieron dirigidos hacia la generación y consolidación de grupos de investigación que, de manera inmediata, generaron redes de colaboración multidisciplinaria nacional e internacionalmente alrededor de las NT. Como resultado de esto, del 2000 al 2015 se publicaron 1,160,952 artículos a nivel global: 85.6% de ellos fueron artículos de investigación, 3.3% artículos de revisión, y el resto reportes de seminarios, artículos de conferencias, ediciones, capítulos de libros, etc. (StatNano, 2017).

Cabe resaltar que 41% de la producción sobre el nanomundo descansa en dos países: China y EEUU. Otro 50% se reparte entre 18 países más,¹⁵ diez de ellos son los mencionados arriba por la OCDE como aquellos que destinan arriba del 2.2% de su PIB a CyT. El 10% restante de la producción científica está entre los demás países alrededor del mundo; hay que resaltar que entre los países latinoamericanos y los africanos alcanzamos sólo el 4% de las publicaciones a nivel global en esta esfera (StatNano, 2017).

La distancia en los montos de inversión que cada país destina a CyT dibuja de entrada una franja divisoria clara entre las naciones desarrolladas y aquellas que no lo son, siendo el acceso a los avances tecnocientíficos un indicador. Por tanto, el análisis acerca del contexto de la IyD de las NT desde la gobernanza debe partir de la idea que este nuevo paquete tecnológico ha servido más como un indicador de diferenciación entre las naciones. Muestra claramente que las inversiones tanto públicas como privadas han logrado generar una triple hélice equilibrada y funcional en los países del Norte (segundo modernos). Por el contrario, en los países del Sur ésta se encuentra resquebrajada, superando el discurso optimista alrededor de las NT como aquellas ciencias que lograrían incorporar a las naciones menos desarrolladas al tren del progreso global, o aquél que prometía que el abanico de posibilidades que este nuevo paquete tecnológico traería consigo se enfocaría hacia las necesidades de las poblaciones más

14

Véase http://www.oecd.org/centrodemexico/Evaluaci%C3%B3n_de_la_OCDE_del_sector_de_las_nuevas_empresas_%20IMPRESA-1.pdf

¹⁵ Japón, Alemania, SudCorea, India, Francia, Reino Unido, Rusia, Italia, España, Taiwán, Irán, Canadá, Australia, Singapur, Polonia, Brasil, Suiza y Países Bajos (StatNano, 2016).

vulnerables en el mundo, atacando problemáticas como la salud, el acceso a agua de calidad, la alimentación o el ataque a las enfermedades relacionadas con la pobreza.

El destino de las NT ha, sin embargo, seguido otro rumbo. Para la OCDE, el empoderamiento de la sociedad a través de la CyT se verá reflejado en tanto la IyD de la esfera científica se enfoque en atacar y resolver problemáticas de primera necesidad (OCDE, 2016); en su estudio alrededor de la innovación como factor de crecimiento e impacto social del 2015,¹⁶ este organismo empata su idea de empoderamiento con los Objetivos del Desarrollo del Milenio señalados por la Organización de Naciones Unidas (ONU).¹⁷ Es decir, tanto la OCDE como la ONU analizan cómo la CyT pueden cuadyuvar al logro de los 17 objetivos que atacan frontalmente problemáticas relacionadas con la pobreza, la crisis alimentaria, las condiciones de salud, el cambio climático, entre otras.¹⁸

<i>DISCIPLINA</i>	<i>CENTRO DE INVESTIGACIÓN</i>
Química e ingeniería química	<ul style="list-style-type: none"> - Chinese Academy of Sciences - Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) - University of California System - US Department of Energy (DOE) - Russian Academy of Sciences - Jilin University - Islamic Azad University - Beijing University of Chemical Technology - Nanjing University - Tsinghua University
Ingeniería de los materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Chinese Academy of Sciences - US Department of Energy (DOE) - Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) - University of California System - Tsinghua University - Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) - Peking University - Nanyang Technological University National Institute of Education (NIE), Singapore
Electrónica	<ul style="list-style-type: none"> - Chinese Academy of Sciences - University of California System - Nanyang Technological University National Institute of Education (NIE) Singapore - University of Electronic Science Technology of China

¹⁶ Véase también http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oced/science-and-technology/oced-science-technology-and-industry-scoreboard-2015_sti_scoreboard-2015-en#page233

¹⁷ Véase <http://www.un.org/millenniumgoals/>

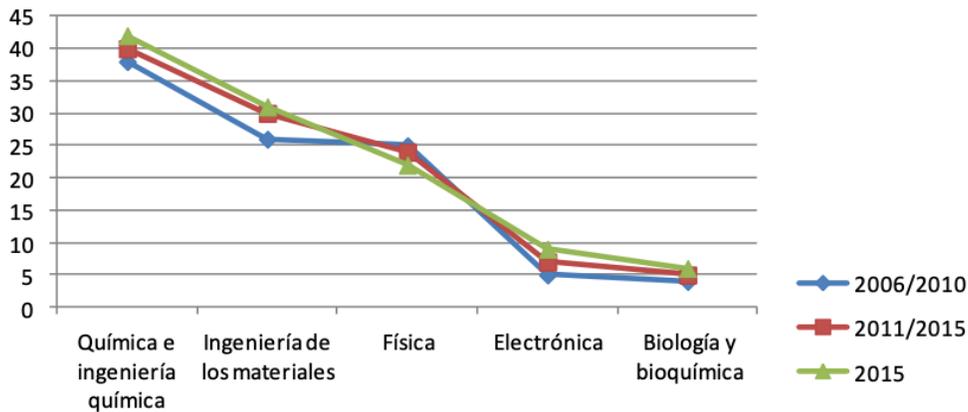
¹⁸ Véase <http://www.un.org/sustainabledevelopment/>

	<ul style="list-style-type: none"> - US Department of Energy (DOE) - Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) - Jilin University
Física	<ul style="list-style-type: none"> - Chinese Academy of Sciences - Russian Academy of Sciences - US Department of Energy (DOE) - Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) - University of California System - University of Science Technology of China - Max Planck Society - Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) - Peking University - Nanyang Technological University National Institute of Education (NIE), Singapore Nanyang University
Biología y bioquímica	<ul style="list-style-type: none"> - University of California System - Chinese Academy of Sciences - Nanyang Technological University National Institute of Education (NIE), Singapore Nanyang University

Tabla 1. Disciplinas científicas y centros de investigación. Fuente: Elaboración propia basada en StatNano 2016. Nanotechnology Research Publications. Statistics and Analysis.

Sin embargo, los datos sobre el rumbo de la IyD en NT van en otra dirección. Alrededor del 90% de la IyD de las NT se enfoca en tres ramas: la química, la ingeniería de los materiales y la física. Los más importantes centros de investigación de acuerdo al número de publicaciones se enfocan en el estudio de estas ramas (Tabla 1).

Gráficamente podría expresarse de la siguiente forma:



Fuente: Elaboración propia basada en StatNano 2016. Nanotechnology Research Publications. Statistics and Analysis.

Además, de los 1,160 organismos que han publicado arriba de 50 artículos relacionados con las NT, 991 dirigieron sus investigaciones exclusivamente a estos tres rubros, lo que habla del foco de atención de la CyT. Todos ellos se encuentran en seis países: China, EEUU, India, Alemania, Francia y Corea del Sur (Tabla 2).

<i>Número</i>	<i>País</i>	<i>Número de organizaciones</i>	<i>Rank en nano-publicaciones</i>
1	China	214	1
2	EEUU	191	2
3	India	65	3
4	Alemania	59	4
5	Francia	59	8
6	Corea del Sur	58	4

Tabla 2. Distribución de organizaciones generadoras de nanociencia. Fuente: StatNano, 2017. Nanotechnology Research Publications. Statistics and Analysis.

Ahora bien, cinco son los centros de investigación con mayor número de publicaciones en NT: la Academia China de Ciencias, la Academia Rusa de Ciencias, la Universidad de California, la Universidad Islámica Azad y la Universidad de Tsinghua, en Corea del Sur (Tabla 3).

<i>Número</i>	<i>Organización</i>	<i>País</i>	<i>Número de artículos</i>
1	Chinese Academy of Sciences	China	7832
2	Russina Academy of Sciences	Rusia	2504
3	University of California System	EEUU	2427
4	Islamic Azad University	Irán	1531
5	Tsinghua University	China	1448
6	Jilin Univesity	China	1312
7	Zhejiang University	China	1266
8	Nanyang Technological University	Singapore	1166
9	Nanjing University	China	1109
10	Max Planck Society	Alemania	1093
11	Shangai Jiao Tong University	China	1023
12	National University of Singapore	Singapore	990
13	Suzhou University	China	990
14	Peking University	China	952
15	Harbin Institute of Technology	China	951
16	Tianjin University	China	896
17	Fudan University	China	889
18	Sichuan University	China	889
19	Shandong University	China	837
20	South Carolina University of Technology	China	826

Tabla 3. Comparación de los artículos sobre nanotecnologías publicados. Fuente: StatNano, 2017. Nanotechnology Research Publications. Statistics and Analysis.

La Academia China de Ciencias¹⁹ lleva cinco años enfocándose al campo de la ingeniería de los materiales (esencialmente al dióxido de silicio—SiO₂—y óxido de titanio—TiO), nanofísica, física aplicada, electroquímica, polímeros y óptica. Esta institución con presencia en todo el territorio chino, tiene 20 revistas que abordan los temas aledaños a las NT;²⁰ cabe señalar que, entre ellas, solo una es dedicada a la temática medioambiental²¹ y una a la salud humana.²²

La Academia Rusa de Ciencias,²³ por su parte, se enfoca esencialmente en el estudio de la física de los materiales densos, la ingeniería de los materiales (SiO₂ y TiO₂), físico-química, física aplicada, metalurgia, cristalografía, entre otros. De las 56 instituciones, centros de investigación y laboratorios que reúne alrededor de la IyD de las NT, sólo un par de ellos posee un programa que se enfoca hacia el estudio de los posibles impactos a la salud humana (el N.S. *Solomenko Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Sciences*²⁴ y el N.S. *Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences*²⁵). En contraparte, menos del 2% de la IyD a nivel global en NT se enfoca en tres áreas donde se abordarían de manera directa problemáticas que se han señalado como Objetivos del Milenio: la nanomedicina, la producción agrícola y la biomedicina (StatNano, 2016).

Podemos concluir, por tanto, que la gobernanza de las NT encuentra en el análisis de los montos de inversión un terreno donde, lejos de generar espacios de igualdad, democracia y participación igualitaria, éstos han servido para ensanchar la diferencias entre los países desarrollados y los que no lo son, entre quienes tienen acceso y los que no al potencial que las NT pueden ofrecer y, en último caso, a los beneficios sociales que pudieran traer consigo. Se derrumba así la hipótesis que las NT podrían servir como una esfera tecnocientífica que podría igualar los niveles de vida humanos gracias al avance mismo del progreso.

Los efectos colaterales de las NT: riesgos a la salud humana y al medio ambiente

Aunado a lo anterior, el lado promisorio del desarrollo e impacto de las NT ha ido aparejado de una serie de críticas cimentadas en el enorme desconocimiento sobre

¹⁹ Véase <http://english.cas.cn/>

²⁰ Véase http://english.cas.cn/publications/tech_sciences/index.shtml

²¹ Véase <http://xxtcl.sxicc.ac.cn/EN/volumn/home.shtml>

²² Véase <http://www.jim.org.cn/EN/volumn/home.shtml>

²³ Véase <http://www.ras.ru/en/index.aspx>

²⁴ Véase http://www.ras.ru/win/db/show_org.asp?P=.oi-276.ln-en

²⁵ Véase http://www.ras.ru/win/db/show_org.asp?P=.oi-456.ln-en

las afectaciones a la salud humana y al medio ambiente que la manipulación e incorporación de la materia a esta escala pueda traer consigo en toda su cadena de valor, es decir, desde su fabricación hasta su etapa como nano-desecho.

Por otro lado, se ha reflexionado sobre la serie de consecuencias que traerá consigo en el ámbito laboral, al requerir de especialistas, cierto perfil de laboratoristas y tomadores de decisión localizados. Algunos más cuestionan la manera en la que, aprovechándose de vacíos legales, varias empresas no declaran en su etiquetado el uso de nanopartículas en la fabricación del producto, o aquellos a artículos a los que solo se les incorporó algún nanomaterial para hacerlos más funcionales. Esto va en detrimento del derecho a la información que el consumidor debe tener (Arnaldi, 2014).

Algunos autores sostienen que el potencial y la fortaleza de las NT radica en que hace a los productos más eficientes, multifuncionales y ahorradores de energía (Foladori, 2010) revolucionando la ciencia de los materiales mismos (Dai, 2006). Atestiguamos, pues, el nacimiento de una tecnología disruptiva (Foladori *et al.*, 2013) con intervención a lo largo de toda la cadena de valor (Záyago *et al.*, 2013), pero con una ausencia en investigación sobre sus efectos toxicológicos, hecho que nos coloca en el debate sobre la responsabilidad de todos aquellos actores que participan alrededor de las nanotecnologías. Demos algunos ejemplos.

La compañía *Innovega* está desarrollando unos lentes de contacto a través de *eMacula*, los cuales permiten visualizar simultáneamente contenido virtual con la visión real; funciona proyectando sobre la retina imágenes virtuales que pasan a través de la óptica central de la lente y, al unirse con la visión real, se logrará percibir como una sola. Su fabricación contiene cristales líquidos que ayudan a mejorar la visión; se sigue experimentando para que la nanoincorporación no interfiera con la visión (Rolland y Cakmacki, 2009). Estos cristales líquidos logran aumentar el rango de colores y son, al mismo tiempo, los que pueden servir como receptores de señales digitales, ofreciendo la posibilidad de poder observar dos “realidades” de manera simultánea en el ojo humano.²⁶ Aunque estos lentes siguen en etapa experimental, están ya siendo probados en elementos del ejército estadounidense. Sin embargo, los lentes están hechos con nanoarcillas que, a través de la retina, pueden ser capaces de penetrar capas oculares e instalarse en el cerebro, posibilitando la formación de tumores y cáncer; el debate médico/psiquiátrico descansa, además, en la opinión acerca de la capacidad del cerebro

²⁶ Véase <http://www.emacula.io/>

humano de poder percibir y manejar dos realidades simultáneas sin ocasionar algún tipo de trastorno, bajo la idea de que la visión humana está diseñada para percibir y manejar solo una realidad a la vez.

Water is Life, una agencia internacional con fines humanitarios, está ya comercializando filtros purificadores de agua (*Nano Water Filter*), los cuales funcionan con nanotubos de carbono; el carbon activado posee la capacidad de filtrar el agua contaminada y es utilizado en los métodos de tratamiento de agua tradicionales desde hace muchos años. El carbono a escala nanométrica tiene la capacidad de acelerar este proceso y sanitizar el agua en pocos minutos.²⁷ Sin embargo, el sector médico y los biólogos se sigue debatiendo acerca del uso indiscriminado de los nanotubos de carbono ya que, a escala nanométrica, el carbón es mucho más tóxico, por lo que su uso y consumo debe ser normalizado en base a la investigación. La rama de la toxicología referida al nanomundo, la nanotoxicología, sigue en ciernes y ha arrojado resultados parciales, en parte por la poca inversión que recibe por parte de los gobiernos y del capital privado. Si bien es cierto que potencialmente las NT podrían ofrecer un beneficio social de enorme impacto al ofrecer agua potable sobre todo en aquellas poblaciones vulnerables y donde el cambio climático ha ocasionado una enorme escasez del vital líquido, también es cierto que se debe contar con el conocimiento suficiente que haga sensato su uso y no generar un mal mayor que el se está combatiendo.

La compañía *Bayer*, por su cuenta, está produciendo y comercializando una película de plástico transparente capaz de bloquear el oxígeno, el dióxido de carbono y la humedad antes de que puedan llegar a los alimentos. El plástico contiene nanopartículas de sílice en un compuesto polimérico que, además, lo hace más ligero, fuerte y resistente al calor. Se propone la fabricación de un tipo de plástico capaz de triplicar la vida útil de algunos productos perdurables y no perdurables. Con los mismos compuestos, se han desarrollado envases inteligentes con sensores integrados, los cuales logran detectar elementos patógenos alimentarios y hacen que el envase cambie de color y alerte al consumidor en caso de que el alimento se haya contaminado o haya caducado.²⁸ Sin embargo, estudios hechos en laboratorio sobre alimentos y bebidas envasadas con recubrimientos de nanopartículas de sílice arrojan que de los sujetos analizados (ratones y conejos), un alto porcentaje (cerca del 90%) desarrollaron diversas

²⁷ Véase <http://waterislife.com/clean-water/filter-systems>

²⁸ Véase <http://www.nanotech-now.com/columns/?Article=421>

enfermedades del corazón, hígado y pulmones, además de enfermedades de tipo cutánea (Alkilany, 2012).

Científicos del departamento de nanotecnología de la Universidad de Tel Aviv han creado una batería capaz de recargarse en 60 segundos. La batería llamada *Flos Battery* funciona con nanocristales formados por aminoácidos; este sistema combina la carga rápida con una acumulación de energía superior a las de las baterías con base en litio. Esta batería tiene el potencial de convertirse en un estándar del mercado para la carga rápida y también está abierta la posibilidad para usarse en vehículos eléctricos.²⁹ Aunado a esto, se están desarrollando baterías del tamaño de un grano de arena utilizando óxido de litio (LiO) formando dos estructuras en forma de peine con diminutos electrodos que tienen un tamaño inferior a 100 nanómetros (μm). Su capacidad de carga y descarga y ciclo de vida son comparables a cualquier batería actual. Estas baterías están pensadas para usarse en múltiples dispositivos existentes, y también permitirán la fabricación de otros nuevos aún más pequeños.³⁰ Sin embargo, el impacto ecológico del uso de materiales como el litio, desde su extracción hasta su disposición final, es muy alto (Wender y Seager, 2011),³¹ por lo que se requieren de estudios precisos de tiempo de vida y de disposición final de estos nanomateriales.

Para finalizar, analizaremos cómo uno de los productos más utilizados por esta novedosa industria, los nanotubos de carbono, ejemplifican esta dualidad de las NT. Los nanotubos de carbono (*buckyballs*) son utilizados en una amplia gama de procesos productivos como resultado de las propiedades que este material adquiere a escala nanométrica. La nanomedicina, por ejemplo, ha sugerido su uso para fijarlos en las células cancerígenas para atacarlas una por una, evitando así los impactos de las agresivas e invasivas técnicas médicas actuales para el tratamiento del cáncer como las radioterapias.³² Algunos otros están estudiando sus propiedades para hacerlas reaccionar con las células madre y lograr efectos regenerativos en las células humanas (Rossetti *et al.*, 2011). Debido a su alta conductividad, son utilizados de manera recurrente ya en dispositivos electrónicos de uso cotidiano como *laptops*, pantallas de televisión, celulares y computadoras. Gracias a su fortaleza, la industria de la

²⁹ Véase <http://www.understandingnano.com/batteries.html>

³⁰ Véase <http://www.sciencemag.org/news/2016/05/how-build-better-battery-throughnanotechno-logy>

³¹ Véase <http://noalamina.org/general/item/9585-cuales-son-los-impactos-ambientales-y-en-la-salud-de-la-explotacion-de-litio>

³² Véase <http://www.dicat.csic.es/rdcsic/index.php/biologia-y-biomedicina-2/106-proyectos/369-nanocapsulas-de-carbono-contra-el-cancer>

construcción está haciendo uso de estos para la edificación de superestructuras, a bajo costo y con mayor perdurabilidad, sobre todo en aquellas zonas con altos índices sísmicos. Sin embargo, existen ya estudios que demuestran las afectaciones ambientales que los nanotubos de carbono han traído consigo (Kulinowski, 2004; Molins, 2008). Éstas se pueden observar desde la producción misma de los nanotubos, ya que estos se logran sólo a altas temperaturas con la técnica de deposición de vapor, hecho que genera tanto benceno como grafeno, ambos gases de efecto invernadero (GEI) que atacan directamente la capa de ozono y son generadores probados del calentamiento global (Helland *et al.*, 2007). Y aunque la industria de producción de los nanotubos de carbono no ha alcanzado niveles considerables, el crecimiento de esta nanomateria prima ha sido de manera exponencial en los últimos años,³³ duplicándose el potencial de producción en menos de 10 años (Yang *et al.*, 2016).

En diversas pruebas de laboratorio, se ha comprobado que logran almacenarse en alta cantidad en las cavidades abdominales de los ratones como si fuesen fibras de asbesto, matándolas de cáncer (Lam *et al.*, 2017); se reporta que una vez que los nanotubos de carbono entran en los espacios intersticiales son captados por las células alveolares, induciendo efectos tóxicos debido a la formación de especies reactivas de oxígeno, lo que da lugar a alteraciones en el ADN e inflamación, generando, entre otras cosas, fibrosis y neumoconiosis (Martínez-Galera, 2017). Cuando estos son inhalados, determinadas fracciones de tamaño se depositan en el tracto respiratorio (Bello y Warheit, 2017). Debido a su tamaño pueden ser captadas por las células epiteliales y endoteliales y alcanzar el torrente sanguíneo por donde son transportadas hasta órganos como la médula ósea, los nódulos linfáticos, el bazo o el corazón (Oberdörster y Graham 2018).

También se ha observado el alcance que logran tener hasta el sistema nervioso central y a los ganglios por translocación a lo largo de los axones y dendritas de las neuronas. Este fenómeno es resultado de la biocinética de las nanopartículas, la cual es diferente de las partículas mayores (Martínez- Galera, 2017). Las partículas acumuladas en la región alveolar se pueden eliminar a través de tres rutas importantes. La primera es a través del sistema mucociliar a lo largo del tracto traqueobronquial, la segunda ruta a través del sistema linfático y, por último, a partir de la disolución de las nanopartículas; esta última ruta, sin embargo, tiene como consecuencia la incorporación de estas

³³ Véase <https://www.nextbigfuture.com/2016/12/water-can-freeze-at-105-to-151-degrees.html#more-841>

nanopartículas al torrente sanguíneo (Ganguly *et al.*, 2017). No se debe pasar por alto que los pulmones envían el oxígeno a la sangre y las nanopartículas pueden viajar por allí, llegando al sistema cardiovascular, hepático, renal y nervioso, multiplicando así su factor de impacto.

Ahora bien, pese a esta serie de evaluaciones, la regulación alrededor de la cadena de valor de los nanotubos de carbono está en ciernes. Este ejemplo puede expandirse para el mundo de las NT en general, donde su regulación, reglamentación, etiquetado, etc., está en una etapa incipiente.

Aunque hay países donde esta preocupación se ve reflejada en leyes, reglamentaciones y regulaciones cada vez más estrictas, lo cierto es que en el mercado circulan productos de todo tipo (alimentos, bebidas, artículos de limpieza, bloqueadores solares, ropa, tintes, medicamentos, etc.) con nanopartículas y nanoincorporaciones sin que se conozca a ciencia cierta cuáles serán sus impactos.

Los ejercicios de gobernanza para gestionar la regulación alrededor de las NT encuentra un buen ejemplo en la agencia europea para las NT, la *Converging Technologies for the European Knowledge Society* (CTEKS), la cual está compuesta y dirigida esencialmente por gente de la academia, y aunque en sus filas cuenta con representantes del sector empresarial y gubernamental, los valores y principios que defienden se enmarcan en la lógica del principio precautorio,³⁴ por lo que la coloca como un modelo a seguir dentro del análisis de la gobernanza para las NT.

La problemática en países como el nuestro se enmarca por la ausencia de una iniciativa nacional que regule, gestione y dirija a las NT.

Conclusiones

La gobernanza de las NT escapa en muchos sentidos al estudio de las dinámicas de la ciencia en su fase tradicional. Atestiguamos la conformación de un escenario donde los actores reconfiguran su posición con respecto al poder, el cual ya no se concentra alrededor de la figura del Estado tradicional, sino que ahora se difumina en diferentes actores económicos, financieros, militares, de la sociedad civil, etc., y donde

³⁴ La Declaración de Río de Janeiro, aprobada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en junio de 1992, consagró el Principio Precautorio bajo el siguiente texto: “Principio 15: Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”.

además hay un juego en los niveles, ya que la globalización ha reconfigurado también las nociones de localidad, regionalidad y nacionalidad. Este hecho no ha sido ajeno a la esfera tecnocientífica, la cual está totalmente inmersa en este tipo de escenarios, ya que los gobiernos económica y políticamente más fuertes del mundo encuentran en el desarrollo de sus aparatos tecnocientíficos un elemento fundamental donde cimentar sus nociones de progreso, de empoderamiento y de participación en el mercado mundial.

Las NT, al encabezar el rumbo del desarrollo tecnológico en este siglo, ha tomado un papel primordial en este sentido. Sin embargo, los estudios a través del enfoque de la gobernanza ha logrado poner a debate el rol equitativo que la ciencia debería tener, demostrando que las desigualdades en las NT se pueden observar en diferentes aspectos: desde los montos de inversión que los gobiernos pueden hacer, hasta la intervención de los presupuestos privados; el rol de los grupos de investigadores en las diferentes universidades y centros de investigación alrededor del mundo; las patentes; el acceso a los dispositivos, aparatos, materiales y servicios con materiales nanoestructurados o con nanoincorporaciones; las leyes y reglamentos que se han elaborado, etc.

En el análisis de esta investigación sobre dos de estos aspectos, los montos de inversión y los riesgos asociados al uso e incorporación de nanomateriales, se localizó que las NT siguen respondiendo a un esquema lineal de IyD científico, esquema que ha logrado ensanchar la brecha entre quienes tienen acceso y no al potencial que este paquete científico posee, así como una clara diferenciación global de aquellos países y aquellas universidades que pueden encabezar el rumbo que tomarán.

Asimismo, se observa que los proyectos de investigación de las principales universidades alrededor del mundo se enfocan en áreas que no necesariamente atacarían problemas relacionados con la pobreza, la marginación o la vulnerabilidad sociales. Pese a que organismos como Naciones Unidas y la OCDE han expresado que las NT poseen el potencial para poder coadyuvar al logro de los Objetivos del Desarrollo del Milenio, no se percibe que el rumbo de las investigaciones en estas universidades se enfoquen en aquellos campos que podrían dirigirse en este sentido (nanomedicina, por ejemplo).

Por otro lado, un debate alrededor de las NT surge desde el ambientalismo y las organizaciones sociales de derechos humanos que señalan los potenciales riesgos que el uso indiscriminado de estos productos podría ocasionar. Partiendo de una posición crítica de la ciencia y los efectos y episodios catastróficos que ha ocasionado a lo largo del siglo XX, voces vivas de la sociedad civil alertan sobre los efectos

toxicológicos que algunos materiales muestran. Pese a que la evidencia empírica es escasa ya que de los grandes montos de inversión un porcentaje mínimo está destinado para esta rama (la nanotoxicología), se han encontrado ya estudios que demuestran cómo los materiales a escala nanométrica incrementan su grado de toxicidad, con efectos devastadores en animales de prueba.

Así, desde efectos en vías nasales y pulmones por la exposición aérea a nanopartículas de sílice utilizadas para la purificación del aire hasta efectos en órganos vitales como corazón, hígado y páncreas por el consumo de alimentos con nanoincorporaciones, laboratorios y centros de investigación han demostrado ya que las nanopartículas poseen la peculiaridad, por su tamaño, de atravesar la piel humana, las venas y las arterias de forma tal que pueden almacenarse indiscriminadamente en cualquier parte del cuerpo, sin saberse aún qué efectos podrían ocasionar.

Grupos ambientales han hecho un llamado para regular su uso ya que algunas nanopartículas de plata, utilizadas en ropa deportiva para inhibir la transpiración, suelen desprenderse de la misma con el lavado de la misma y llegar a ríos, lagos, mares, etc., alterando el ya de por sí dañado equilibrio ecológico global. Un llamado desde la gobernanza es precisamente lograr un equilibrio entre los intereses sociales y el rumbo que la IyD pueda tener, especialmente en paquetes tecnocientíficos con el potencial que las NT poseen.

Bibliografía

- Alkilany, Alaaldin, Nouf Mahmoud, Fatemeh Hashemi, Mohammad Hajipour, Fakhrosadat Farvadi y Morteza Mahmoudi. 2016. "Misinterpretation in Nanotechnology: A Personal Perspective," *Chemical Research in Toxicology* 29(6): 943-948. Disponible en: <http://doi:10.1021/acs.chemrestox.6b00108> [1 de mayo de 2018].
- Anzaldo, Mónica, Michelle Chauvet y Luis Maldonado, 2014. "Fondos públicos para la investigación en nanotecnologías en México y el cambio de paradigmas de la política de CTP", *Interciencia* 39(1): 8-15. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/339/33930067002.pdf> [14 de abril de 2018].
- Arnaldi, Simone. 2014. "¿Qué tan suave debería ser la regulación nano? Identidades sociales y opiniones de los stakeholders italianos", *Mundo Nano* 7(13).

- Disponibile en: <http://revistas.unam.mx/index.php/nano/article/view/48704/43755> [12 de mayo de 2018].
- Assadourian, Erik. 2010. "Transforming Cultures: From Consumerism to Sustainability", *Journal of Macromarketing* 30(2): 186-191. Disponible en: <http://doi/abs/10.1177/0276146710361932?journalCode=jmka> [25 de mayo de 2018].
- Barrero, Gabriel. 2011. *Contribuciones de la sociología a la investigación y evaluación de las nanotecnologías*. Montevideo: Facultad de Ciencias Sociales.
- Bauman, Zigmunt. 2003. *En busca de seguridad en un mundo hostil*. Madrid: Siglo XXI.
- _____. 2007. *Vida de consumo*. México: FCE.
- Beck, Ulrich. 2002. *La sociedad del riesgo global*. Madrid: Siglo XXI.
- _____, Anthony Giddens, Scott Lash y Jesús Albores. 1997. *Modernización reflexiva: política, tradición y estética en el orden social moderno*. Madrid: Alianza editorial.
- Bello, Dhimiter y David Warheit. 2017. "Biokinetics of Engineered Nano-TiO₂ in Rats Administrated by Different Exposure Routes: Implications for Human Health," *Nanotoxicology* 11(4): 431-433. Disponible en: <http://doi:10.1080/17435390.2017.1330436> [14 de mayo de 2018].
- Cashore, Benjamin. 2003. "Legitimacy and the privatization of Environmental Governance: How Non-State Market-Driven (NSMD) Governance Systems Gain Rule-Making Authority," *Governance, An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1468-0491.00199> [10 de mayo de 2018].
- Cozzens, Susan y Jameson Wetmore (eds.). 2011. *Nanotechnology and the Challenges of Equity, Equality and Development*. NY: Springer.
- Chen, Jianing, Michela Badoli, Pablo Alonso González, Sukosin Thongrattanasiri, Florian Huth, Johann Osmond, Marko Spasenovic, Alba Centeno, Amai Pesquera, Phillipe Godignon, Amaia Zurutuza, Nicolás Cámara, Francisco Javier García de Abajo, Rainer Hillenbrand y Frank Koppens. 2012. "Optical Nano-Imaging of Gate-tunable Graphene Plasmons," *Nature* 487. Disponible en: <http://doi:10.1038/nature11254> [16 de abril de 2018].
- Dai, Liming. 2006. *Carbon Nanotechnology*. Dayton: University of Dayton.
- Delgado, Gian Carlo. 2007. "Incertidumbre de la nanotecnología: riesgos ambientales y salud", *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* (6):47-61. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231120826005.pdf> [21 de mayo de 2018].

- _____. 2008. “Economías política de la nanotecnología”, *Mundo Nano* 1(1). Disponible en: <file:///C:/Users/pc27/Downloads/53564-151783-1-PB.pdf> [12 de abril de 2018].
- Echevarría, Javier. 2005 “Gobernanza de las nanotecnologías”, *Arbor* 181, No. 715. Disponible en: <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/viewFile/414/415> [26 de abril de 2018].
- Etzkowitz, Henry y Loet Leydesdorff. 2000. “The Dynamics of Innovation: from National System to “Mode 2” to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations,” *Research Policy* (29):109-123. Disponible en: [http://www.chss.uqam.ca/Portals/0/docs/sts8020/\(20\)Etzk-Leides.Triple.Helix.pdf](http://www.chss.uqam.ca/Portals/0/docs/sts8020/(20)Etzk-Leides.Triple.Helix.pdf) [13 de abril de 2018].
- Farokhzad, Omid y Robert Langer. 2009. “Impact of Nanotechnologies on Drug Delivery,” *ACS Nano* 3(1), pp. 16-20. Disponible en: <https://doi:10.1021/nn900002m> [5 de mayo de 2018].
- Foladori, Guillermo. 2010. “Las nanotecnologías en contexto”, *Sociología y Tecnociencia* 0(2). Disponible en: <file:///C:/Users/pc27/Downloads/Dialnet-LasNanotecnologiasEnContexto-3715576.pdf> [10 de mayo de 2018].
- _____. 2016. “Políticas públicas en nanotecnología en América Latina”, *Problemas del Desarrollo* 186(47): 59-81.
- _____, Fernando Bejarano y Noela Invernizzi. 2013. “Nanotecnología: gestión y reglamentación de riesgos para la salud y el medio ambiente en América Latina y el Caribe”, *Trabalho, Educacao e Saúde* 11 (1): 145-167. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-77462013000100009> [14 de abril de 2018].
- Fukuyama, Francis. 2013. “What is governance?” *Governance, An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/gove.12035> [28 de abril, 2018].
- Ganguly, Koustav, Dariush Etehadieh, Swapna Upadhyay, Shinji Takenaka, Thure Adler, Erwin Karg, Fritz Krombach, Wolfgang Kreyling, Holger Schulz, Otmar Schmid y Tobias Stoeger. 2017. “Early Pulmonary Response is Critical for Extra-pulmonary Carbon Nanoparticle Mediated Effects: Comparison Inhalation versus Intra-arterial Infusion Exposure in Mice,” *Particle and Fibre Toxicology* 14(19). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12989-017-0200-x> [14 de mayo de 2018].

- Giddens, Anthony. 2000. *Un mundo desbocado: los efectos de la globalización en nuestras vidas*. Madrid: Taurus.
- Helland, Aasgeir, Peter Wick, Andreas Kholer, Kaspar Schmid y Claudia Som. 2008. "Reviewing the Environmental and Human Health Knowledge Base of Carbon Nanotubes," *Ciencia & Saúde Coletiva* 13(2). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232008000200019> [21 de mayo de 2018].
- Hulla, Janis, Stefen Sahu y Arthur Hayes. 2015. "Nanotechnology. History and Future," *Human & Experimental Toxicology* 34(12). Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0960327115603588> [14 de abril de 2018].
- Knill, Christoph y Dirk Lehmkuhl. 2002. "Private Actor and the State: Internationalization and Changing Patterns of Governance", *Governance, An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1468-0491.00179> [21 de abril de 2018].
- Kulinowski, Kristen. 2004. "Nanotechnology: from 'Wow' to 'Yuck?'," *Bulletin of Science, Technology and Society* 24.1: 13-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0270467604263112>
- Lam, Pik-Ling, Wai-Yeung Wong, Zhaoxiang Bian, Chung-Hin Chui y Roberto Gambari. 2017. "Recent Advances in Green Nanoparticles Systems for Drug Delivery: Efficient Delivery and Safety Concern," *Future Medicine* 12(4). Disponible en: <https://doi.org/10.2217/nnm-2016-0305> [12 de mayo de 2018].
- Loorbach, Derk. 2009. "Transition Management for Sustainable Development: A Prescriptive Complexity-Based Governance Framework, Governance Systems Gain Rule-Making Authority," *Governance, An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0491.2009.01471.x> [30 de abril de 2018].
- Macnaghten, Phil, Matthew Kearnes y Brian Wynne. 2005. "Nanotechnology, Governance, and Public Deliberation: What Role for the Social Sciences?" *Science Communication* 27(2): 268-291. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1075547005281531> [19 de abril de 2018].
- Martínez-Galera, Antonio, Uber Shroder, Carl Herbig, Mikel Arman, James Knudsen y Tim Michely. 2017. "Preventing sintering of nanoclusters on graphene by radical adsorption," *Nanoscale* 36. Disponible en: <http://pubs.rsc.org/-/content/articlelanding/2017/nr/c7nr04491g/unauth#!divAbstract> [14 de abril de 2018].

- McGrail, Stephen. 2010. "Nano Dreams and Nightmares: Emerging Technoscience and the Framing and (re)Interpreting of the Future, Present and Past," *Journal of Future Studies* 14(4). Disponible en: <http://jfsdigital.org/articles-and-essays/2010-2/vol-14-no-4-june/article/nano-dreams-and-nightmares-emerging-technoscience-and-the-framing-and-reinterpreting-of-the-future-present-and-past/> [1 de abril de 2018].
- Mendoza, Guadalupe y José Luis Rodríguez-López. 2007. "La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso", *Perfiles Latinoamericanos* 14(29). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-76532007000100006 [12 de abril de 2018].
- Molins, Ricardo. 2008. "Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud, los alimentos, la agricultura y el ambiente", *Comunica* 4. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6621/A6020e.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [21 de abril de 2018].
- Muñoz, Emilio. 2005. "Gobernanza, ciencia, tecnología y política: trayectoria y evolución", *Arbor* 181, No. 715. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/arbor.2005.i715.413> [6 de mayo de 2018].
- Oberdörster, Günter y Uschi Graham. 2018. "Predicting EMF Hazard: Lessons from Studies with Inhaled Fibrous and Non-Fibrous Nano and Micro-Particles," *Toxicology and Applied Pharmacology* (in press, accepted manuscript). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2018.05.004> [23 de mayo de 2018].
- Organización para el Comercio y el Desarrollo Económico (OCDE). 2016. *Science, Technology and Innovation Outlook 2016*. Disponible en: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en#page1 [9 de mayor de 2018].
- Pierre, Jon y Guy Peters. 2000. *Governance, Politics and the State*. NY: St. Martin's Press.
- Rhodes, RAW. 1997. *Understanding Governance: Policy Networks, Governance, Reflexivity and Accountability*. Philadelphia: US Open University Press.
- Roco, Mihail. 2005. "International Perspective on Government Nanotechnology Funding," *Journal of Nanoparticle Research* 7(6). Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11051-005-3141-5> [14 de mayo de 2018].

- Rolland, Jannick y Ozan Cakmacki. 2009. "Head-Horn Displays: the Future through New Eyes," *OSA The Optical Society*. Disponible en: https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_20/issue_4/features/head-worn_displays_the_future_through_new_eyes/ [23 de mayo de 2018].
- Rossetti, Ilena, Gianguido Ramis, Alessandro Gallo, Alessandro di Michel. 2011. "Hydrogen Storage Over Metal-Doped Activated Carbon," *International Journal of Hydrogen Energy* 40(24): 7609-7226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.064> [10 de mayo de 2018].
- Selin, Cynthia. 2007. "Expectations and the Emergency of Nanotechnology," *Science, Technology and Human Values* 32(2): 196-220. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0162243906296918> [21 de mayo de 2018].
- Smits, Ruud y Stefan Kulhmann. 2004. "The Rise of Systemic Instruments in Innovation Policy," *International Journal of Foresight and Innovation Policy* 1: 4-32. Disponible en: <http://doi.10.1504/IJFIP.2004.004621> [1 de mayo de 2018].
- Szejnwald, Halina y Philip Vergragt. 2016. "From Consumerism to Wellbeing: Toward a Cultural Transition?" *Journal of Cleaning Production* 132, pp. 308-317. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.107> [15 de mayo de 2018].
- StatNano. 2016. *Nanotechnology Research Publications. Statistics and Analysis*. Disponible en: <http://statnano.com/publications/4127> [25 de mayo de 2018].
- Swyngedouw, Erik. 2005. "Governance Innovation and the Citizen: the Janus Face of Governance-beyond-the-state," *Urban Studies* 42. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00420980500279869> [14 de abril de 2018].
- The Royal Society. 2004. *Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. UK: The Royal Society & The Royal Academic of Engineering.
- Wender, Ben y Thomas Seager. 2011. "Towards Prospective Life Cycle Assessment: Single Wall Carbon Nanotubes for Lithium-Ion Batteries" *Sustainable System and Technology*. Disponible en: <http://doi.10.1109/ISSST.2011.5936889> [29 de abril de 2018].
- Yang, Yingchao, Cristina Ramirez, Xing Wang, Zhixing Guo, Anton Tokranov, Ruiqui Zhao, Izabela Szlufarska, Jun Lou y Brian Sheldon. 2017. "Impacts of Carbon Nanotubes Defects on Fracture Mechanisms in Ceramic Nanocomposites," *Carbon* 115. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.01.029> [14 de mayo de 2018].

Záyago, Edgar, Guillermo Foladori, Richard Appelbaum y Edgar Arteaga. 2013.
“Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer acercamiento”,
Estudios Sociales 21(42): 9-25.