

Cuadernos de Antropología Social

Cuadernos de Antropología Social

ISSN: 0327-3776

cuadernosseanso@gmail.com

Universidad de Buenos Aires

Argentina

Hubert, Matthieu; Spivak L'Hoste, Ana
El riesgo nano en contexto. De cómo los investigadores en nanociencias manejan las
incertidumbres
Cuadernos de Antropología Social, núm. 43, 2016, pp. 143-158
Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180948645011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

El riesgo nano en contexto

De cómo los investigadores en nanociencias manejan las incertidumbres

 Matthieu Hubert * y Ana Spivak L'Hoste **

Resumen

Las nanotecnologías suman un conjunto de técnicas y conocimientos para manipular objetos a escala nanométrica. Con aplicaciones que podrían impactar en la vida cotidiana, son prioritarias desde los años 2000 en las agendas de investigación tecnocientíficas. Sin embargo, persisten las incertidumbres sobre los riesgos sanitarios y medioambientales ligados a su investigación y usos. Este texto abordará las estrategias cognitivas y prácticas de los investigadores en nanociencias para manejar esas incertidumbres. Sobre la base de entrevistas realizadas en centros de investigación parisinos, el análisis avanzará en tres direcciones: 1) la permanencia de un modelo racionalista que, suponiendo una lógica lineal de evaluación y regulación de la tecnología, activa fronteras entre dentro y fuera del laboratorio; 2) la contextualización y relativización de los riesgos en el marco del laboratorio; y 3) su regulación, en ese ámbito, vía procedimientos institucionales inscriptos en el modelo de gestión del riesgo de la higiene industrial.

Palabras clave

Riesgo;
Evaluación;
Regulación;
Laboratorio;
Nanomaterial

Nano Risk in Context. How Nanoscience Researchers Deal with Uncertainties

Abstract

Nanotechnology is a set of knowledge, technical skills, and instruments that enable to manipulate nanoscale objects. Its applications could impact everyday life and, in many countries, it has been defined as a public policy priority since the beginning of the 2000's. However, there remain uncertainties about health and environmental risks that are related to the use of nanotechnology. This text deals with the cognitive strategies and practices of researchers in nanoscience in order to deal with such uncertainties. Based on interviews conducted in Paris research centers, three directions of analysis

Key words

Risk;
Evaluation;
Regulation;
Laboratory;
Nanomaterial

* Doctor en Sociología. Investigador asistente de CONICET, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Correo electrónico: matthieu.hubert@conicet.gov.ar

** Doctora en Ciencias Sociales. Investigadora adjunta de CONICET, Universidad Nacional de San Martín, Argentina. Correo electrónico: anaspivak17@yahoo.com.ar

are considered: 1) the permanence of a rationalist and linear model of risk evaluation and regulation that shapes boundaries between inside and outside the laboratory; 2) the contextualization and relativization of risks within the laboratory; and 3) the regulation of risks in the laboratory, via a set of institutional procedures that are mainly aligned with the risk management model of industrial hygiene.

O risco nano em contexto. Como os pesquisadores em nanociência gerenciam as incertezas

Resumo

Palavras chave

Risco;
Avaliação;
Regulação;
Laboratório;
Nano material

As nanotecnologias constituem um conjunto de técnicas e conhecimentos para manipular objetos na nano escala. Com aplicações que poderiam impactar na vida cotidiana, eles são prioridades desde começos da década de 2000 nas agendas de pesquisa técnico-científicas. No entanto, subsistem incertezas sobre os riscos na saúde e no meio ambiente, associados a suas pesquisas e aplicações. Este texto analisa as estratégias cognitivas e as práticas dos pesquisadores em nanociência para gerenciar essas incertezas. Com base em entrevistas realizadas em centros de pesquisa de Paris, a análise avança em três direções: 1) a permanência de um modelo racionalista que assume uma lógica linear de avaliação e a regulação da tecnologia ativando as fronteiras dentro e fora do laboratório; 2) a contextualização e relativização dos riscos no âmbito do laboratório; e 3) sua regulação, também no laboratório, através de procedimentos institucionais baseados no modelo de gestão de risco de higiene industrial.

El riesgo nano

Marcela (fisióloga, investigadora en fisiopatología respiratoria del Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) trabajaba desde mediados de los años 1990s, junto a varios colegas biólogos y médicos de su equipo de investigación parisino, sobre el impacto de la polución ambiental en la salud humana.¹ En particular, investigaban los efectos respiratorios de la polución atmosférica y del humo de cigarrillo.

A partir de 2004, y en línea con el lanzamiento en Francia de programas de investigación en nanociencias, su equipo incorporó temáticas de nanotoxicología. Ese mismo año, el equipo decidió agregar en su laboratorio nuevas medidas de protección a las que ya utilizaban habitualmente como guardapolvo y guantes. Entre ellas, sumó el uso de la caja de guantes para manipular nanopartículas. Nunca antes se habían usado este tipo de partículas en el laboratorio y junto con este primer acercamiento llegaban comentarios sobre los eventuales riesgos de trabajar con materiales a esa escala.

Hasta 2010 la institución de pertenencia del grupo, un centro nacional de investigación biomédica donde las nanociencias eran muy marginales, no envió recomendaciones específicas de cuidado. Esto cambió en julio de ese año. El personal de higiene y seguridad de la institución informó sobre los peligros del trabajo a la escala nanométrica tras haber “visto *nano* escrito en el nombre del equipo”. Un ingeniero de ese sector se acercó al laboratorio e interrogó a los investigadores sobre sus prácticas en relación al *riesgo nano* sugiriendo utilizar una gran campana durante el pesaje de las nanopartículas en polvo. El grupo de investigación adquirió tal campana para reemplazar la caja de guantes que utilizaban desde el 2004.

1. Los nombres de los investigadores entrevistados fueron cambiados para mantener el anonimato. La primera vez que aparezcan en el texto se detallará su disciplina, la etapa de la carrera de cada uno de ellos y la institución en la que se desempeñan.

Sin embargo, algunos meses después, otro ingeniero de higiene y seguridad del centro visitó el laboratorio y planteó que la caja de guantes era preferible a la campana. “No saben” —concluyó Marcela. Los investigadores se protegen “por ahora, de manera muy empírica” y con medidas de protección, sean sugerencia del servicio de higiene y seguridad o sean adoptadas *sui generis* por los investigadores, que “no son específicas de las nanotecnologías” —agrega (Entrevista a Marcela, 27 de octubre de 2010).

Las nanotecnologías suman un conjunto de técnicas y conocimientos que permiten estudiar, producir y manipular objetos o materiales a la escala de nanómetro (la milonésima parte del milímetro). Consideradas tecnologías clave de los inicios del siglo XXI, cuyas aplicaciones podrían impactar en numerosos ámbitos de la vida cotidiana² (Roco y Bainbridge, 2003; Arnall y Parr, 2005), se erigen prioritarias en agendas y políticas de investigación e innovación en numerosos países industrializados (Schummer, 2007) y en vía de desarrollo (Invernizzi y otros, 2014).

Ahora bien, estas potenciales aplicaciones coexisten, como anticipa el párrafo anterior, con incertidumbres sobre los riesgos sanitarios y medioambientales ligados a su investigación, producción y usos (Schulte y otros, 2008; Journeay y Goldman, 2014; Invernizzi y Foladori, 2014; Jouzel, 2015). Sin métodos estandarizados ni dispositivos de medida legitimados a esos tres niveles, las nanotecnologías son objeto, en algunos países, de intensas controversias públicas. Es el caso de Francia donde los debates en torno a sus riesgos mediatizaron, como antes sucediera con las tecnologías nucleares o los organismos genéticamente modificados, fuertes críticas a las decisiones en materia de desarrollo científico y tecnológico.

Si bien hay antecedentes de estudios sobre las controversias públicas ligadas al desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías en Francia (Vinck y otros, 2007; Laurent, 2007; Joly y Kaufman, 2008; Quet, 2012; Spivak L'Hoste y Hubert, 2013; Chateauraynaud, 2014); hay una voz aún no considerada en su estudio: la de los investigadores en nanociencias. Actores centrales del campo en tanto productores de conocimientos científicos, instrumentales y técnicos relativos a su desarrollo, los investigadores participan también en la construcción del riesgo como problema público (Gilbert, 2003).

Con el fin de incorporar su perspectiva, entrevistamos a cerca de cuarenta investigadores en nanociencia de la región de París, dialogando sobre sus experiencias y consideraciones en relación a la producción de conocimiento científico a esa escala, a las proyecciones tecnológicas de esos conocimientos y a sus riesgos. Las preguntas hicieron énfasis en sus vivencias e impresiones sobre la gestión de riesgos enfocando posibles asociaciones entre este nuevo objeto de investigación y los peligros para la salud propia o de los colegas, así como eventuales precauciones a tomar en cuenta. Interrogamos también sobre los dispositivos en marcha en el seno de los laboratorios, las medidas que deberían tomar en consideración los organismos públicos de evaluación, regulación y control, y las asociaciones entre *riesgo nano* y ámbitos de trabajo y de vida.

Realizamos las entrevistas en el año 2010. Meses antes se habían desarrollado en distintas ciudades francesas diecisiete debates públicos organizados por la Comisión Nacional del Debate Público (CNDP) sobre las “opciones generales en materia de desarrollo y de regulación de las nanotecnologías”.³

Estos debates que congregaron a expertos, políticos y público en un auditorio, junto al financiamiento estatal de programas de investigación sobre nanotoxicidad,⁴ pretendieron vehicular, entre otras cuestiones, la voluntad de considerar los riesgos potenciales de esta nueva tecnología independientemente de los intereses económicos e industriales. Paralelamente, pretendieron promover la participación de los ciudadanos en las elecciones sobre el desarrollo nanotecnológico.

2. Las nanotecnologías permiten proyectar múltiples aplicaciones industriales en materia energética, de desarrollo de materiales, biomedicina, informática y telecomunicaciones.

3. http://cpdp.debatpublic.fr/cpdp-nano/debat/debat_public.html

4. En Francia la Agence Nationale de Sécurité Sanitaire Alimentation Travail (ANSES) coordinó la redacción de varios informes de experticia colectiva en 2006, 2008, 2010, 2013 y 2014 sobre la evaluación de los riesgos de los nanomateriales para la salud humana y los problemas sanitarios asociados a su producción y uso. Ver por ejemplo: <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2012sa0273Ra.pdf>
A nivel europeo, cabe mencionar la acción conjunta *Nanogenotox*, cofinanciada por la Comisión Europea sobre la evaluación de la toxicidad y la ecotoxicidad de los nanomateriales cuyos resultados fueron publicados en 2013. Asimismo, instituciones internacionales como la Organización Internacional de Normalización (ISO) o la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) desarrollaron nuevas metodologías de evaluación de riesgos, especialmente para el ámbito de trabajo, y test de seguridad sanitaria y medioambiental.

Sin embargo, esa no fue la única lectura de los propósitos de dichos debates. Considerados también como una estrategia para dar legitimidad y consenso a las decisiones ya tomadas en materia nanotecnológica, se convirtieron, en múltiples ocasiones, en escenarios de protesta donde los colectivos de oposición a las nanotecnologías frenaban las discusiones planteadas por la organización del debate esgrimiendo críticas sobre las limitaciones de ese dispositivo de participación, sobre los contenidos y decisiones respecto del desarrollo de la nanotecnología y sobre las responsabilidades de los científicos señalados como *aprendices de brujo* y/o representantes de intereses comerciales.

Este contexto, en el que se anclan las respuestas sobre las que basamos el siguiente análisis, propició cierta forma de reflexividad de los científicos sobre su rol en las decisiones científicas y tecnológicas, los desafíos sociales de la nanotecnología, los riesgos asociados a su desarrollo y su implicación en el debate público.

El texto repondrá los argumentos de los investigadores en nanociencia relativos a los riesgos ligados a las nanotecnologías en tres partes. En la primera, veremos como las respuestas de los investigadores se apoyan en una racionalidad legitimada en el discurso científico. Estas respuestas subrayan la permanencia de un modelo racionalista y legalista de la experticia, particularmente fuerte en Francia (Restier-Melleray, 1990; Granjou, 2004), que determina una lógica lineal y progresiva de evaluación y regulación de la tecnología. Luego, y apropiándonos de una distinción nativa, focalizaremos sobre la caracterización del *riesgo nano* en el laboratorio presentando los argumentos que despliegan los investigadores para contextualizar y, con frecuencia, relativizar los peligros en ese ámbito. En una tercera parte veremos que la regulación del *riesgo nano* en el laboratorio se enmarca en procedimientos institucionales inscritos en el modelo clásico de gestión de los riesgos de la higiene industrial (Jouzel, 2015). Concluiremos mostrando que el discurso de los investigadores en nanociencias revela una tensión entre, por un lado, una lógica de experticia racionalista en la que la fase de evaluación científica antecede a la regulación y, por otra parte, la producción de juicios en base a experiencias y registros de justificación variables en función del contexto.

Evaluar y regular: la persistencia de un modelo racionalista y legalista

En esta primera parte del texto caracterizaremos, en base a las respuestas de los investigadores, el reconocimiento y la preocupación que expresan respecto del *riesgo nano*; reconocimiento y preocupación que explicitan la permanencia de un modelo racional-legal de la experticia (Restier-Melleray, 1990; Granjou, 2004) que supone una separación entre una primera fase de evaluación destinada a producir conocimientos sobre los posibles efectos tóxicos de las nanotecnologías sobre la salud y el medioambiente, y una segunda fase de regulación dirigida a concebir y poner en funcionamiento las normas y estándares de buenas prácticas apoyadas en los resultados científicos (Granjou y Barbier, 2010). Se trata de un modelo que se inscribe, así, en una lógica secuencial: primero se debe generar el conocimiento necesario para que luego los organismos públicos correspondientes regulen.

Reducir incertidumbres avanzando la investigación en toxicología

La mayoría de los investigadores con quienes dialogamos reconocen la existencia de riesgos ligados a la nanotecnología; los comparan y demarcan respecto de otros riesgos, se posicionan respecto de ellos como ciudadanos así como por ser miembros de un colectivo profesional específico.

Pienso que es un poco peligroso. No hay que respirar los nanotubos, claro. De hecho en esta conferencia *NanoTubos* hay también un grupo de investigación en toxicidad. Ellos mostraron estudios que hicieron con ratas, mostraron el estado de

los pulmones e hicieron un comparativo, y es verdaderamente asqueroso. Había una comparación entre una exposición muy fuerte a los nanotubos y una exposición muy fuerte al tabaco y es peor que el tabaco. Entonces es peligroso, lo sabemos, y hay que prestar atención. La forma tubular es la más peligrosa, más peligrosa que si fueran bolitas como las nanopartículas que son relativamente expulsables por nuestro cuerpo. Igual respiramos más mierdas malsanas de caños de escape que nanopartículas (Entrevista a Roberto, ingeniero e investigador postdoctoral del Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives, 5 de mayo de 2010).

La gente es consciente de que hay riesgo. Sea real o no, eso nos lo dirán algún día los estudios biológicos. Por ahora lo que vemos en la bibliografía nos hace más que nada reír porque hacer tragar a una rata el equivalente a un kilo de nanotubos, si tomamos el factor de escala sería como poner la cabeza en un balde repleto de nanotubos, comerlo y claro, te enfermás. No hay necesidad de meter nanotubos de carbono, lo podemos hacer con productos muy sanos e igual dará una crisis de hígado, cirrosis o algo así. Tenemos un poco de dudas sobre la toxicidad y si hay dudas nos protegemos (Entrevista a Carlos, técnico y responsable de seguridad del Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives, 31 de mayo de 2010).

Ambos reconocen riesgos asociados al desarrollo de las nanotecnologías, dan algunas pistas para caracterizarlo y acuerdan en la necesidad de prestar atención, de protegerse. También diferencian y valoran el *riesgo nano* respecto de otros riesgos, el tabaco y el humo del caño de escape en el primer caso, productos sanos en excesivas cantidades en el segundo. El matiz que imprimen a este reconocimiento, en cambio, diverge. Mientras el primero habla y pondera los peligros (“es verdaderamente asqueroso”), el segundo argumenta desde la duda, relativizando tales peligros en base a una desestimación de carácter metodológica de las investigaciones que los sostienen.

Ahora bien, más allá de estas diferencias ambos investigadores, como la mayoría de los consultados, coinciden en la necesidad de dejar en manos de la evaluación científica las precisiones sobre el *riesgo nano*. De hecho, consideran que la incertidumbre sobre su naturaleza y amplitud se explica justamente por la falta de conocimientos científicos. Ahondando en sus respuestas aparece, además, una explicación a esa carencia asociada a la fragilidad institucional de la nanotoxicología, en particular, y de la toxicología en general, que en Francia fue históricamente relegada por la higiene industrial (Jouzel, 2015); esto es, por una disciplina centrada no tanto en la producción de conocimientos sobre toxicidad como en el establecimiento de las medidas de exposición y equipamientos de protección para los trabajadores.

La fragilidad institucional de la nanotoxicología tiene también otros componentes. Por un lado, hay pocos especialistas y éstos provienen de distintas disciplinas, por lo que varios entrevistados sugieren que se requieren esfuerzos de capacitación. Por otro lado el avance de sus trabajos, en términos de producción de conocimientos, se ve limitado por las incertidumbres respecto de la aplicabilidad de métodos de evaluación clásicos en sustancias nanométricas. Afinando conocimientos de materiales a esta escala, los toxicólogos concluyeron que debían revisar sus metodologías y maneras de trabajar. Los primeros estudios publicados en nanotoxicología resultaron insatisfactorios.

Según Marcela, la fisióloga mencionada en la introducción, las nanopartículas son potencialmente peligrosas, cualquiera sea su tipo, pero recién hace “aproximadamente dos años” que los estudios comenzaron a “ser más rigurosos”, “hay un manejo de evidencias que muestran que es peligroso... pero con qué exposición, con cuáles nanopartículas, no sé” (Entrevista a Marcela, 27 de octubre de 2010). Tener más certezas “lleva tiempo” —afirma insistiendo en la dificultad para dar respuestas definitivas. “No

es como ciertos compuestos químicos o como el amianto donde ahora estamos seguros que hace cosas desastrosas. Las nanos no van a ser así de claras” —agrega su colega María (Entrevista a María, bióloga e investigadora postdoctoral del Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, 27 de octubre de 2010).

Más allá de los obstáculos, que para los científicos consultados se resolverán con tiempo, rigurosidad y métodos, avanzar en toxicología podrá reducir las incertidumbres del *riesgo nano*. Un avance que no sólo los investigadores resaltan sino que se incorporó como prioridad en los programas de investigación en nanotecnología debido a las presiones de asociaciones civiles y ONGs que trajeron aparejados financiamientos propiciando el acercamiento a la especialidad de profesionales provenientes de distintas disciplinas (física, ciencias biomédicas, etcétera).

La regulación de la comercialización de productos nano como precaución

“Consideramos las nanos como peligrosas, muy peligrosas no diría, pero prestamos atención, lo que llamamos principio de precaución” —afirma María (Entrevista a María, 27 de octubre de 2010). La incertidumbre llama a aplicar dicho principio en espera que se produzcan y validen los conocimientos científicos necesarios. En esa dirección, los investigadores comparten la inquietud de parte del público respecto de la presencia de nanopartículas en los objetos de consumo, fundamentalmente aquellos ligados a la industria alimentaria.

“Hay que aplicar el principio de precaución [sin] devenir paranoico” —sugiere Romina (Entrevista a Romina, ingeniera y estudiante doctoral del Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives, 24 de septiembre de 2010), introduciendo la necesidad de regular a medida que se conozcan los riesgos. Pero esta necesidad de regulación no se circunscribe al avance de los conocimientos.

La aparición de algo nuevo no puede quedar así, hay que encuadrarlo, encuadrarlo da explicaciones... sabemos lo que es peligroso y lo que no es peligroso. No encuadrarlo nuevo puede llevar a que haya grupos que impongan en los medios de comunicación su versión de las nanos. Y eso puede dar cualquier cosa. Es necesario hacer ese trabajo de encuadramiento antes. Es muy, muy importante. Después habrá que ver detalladamente cómo se hace, pero hay que hacerlo (Entrevista a Jorge, químico y profesor universitario con dedicación exclusiva de la Université Paris-11, 29 de junio de 2010).

Sería dramático que haya una moratoria, sería dramático porque frenaría toda innovación. Desarrollo racional razonable sería una mejor opción. No es necesaria una moratoria pero hay que hacer algo razonable. El hecho de que industrialicemos las nanos sin conocer la toxicidad o sin conocer los riesgos asociados a su uso cotidiano es un gran error que se debe, yo pienso, al lobby industrial (Entrevista a Angelina, agrónoma e investigadora en eco-toxicología del Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives, 18 de octubre de 2010).

Más allá de la importancia que otorgan a la evaluación científica como insumo para la regulación, también se evidencian otras perspectivas. En estos extractos, el primero de ellos fuertemente marcado por las críticas que atravesaron los debates públicos de la CNDP, la regulación se propone para evitar que los grupos de oposición impongan sus definiciones de las nanotecnologías y hagan circular afirmaciones sobre sus riesgos.

Esta posición, así como la de Angelina, se inscribe en una doble inquietud de los investigadores. Por una parte, expresa el temor a que los reclamos debiliten o frenen el avance de la investigación (como sucedió con los cultivos transgénicos). Por otra

parte, permite desplazar a los científicos del protagonismo que asumen en algunos discursos críticos. En ese sentido, la necesidad de regulación los deja en un segundo plano de responsabilidad respecto del manejo de los riesgos en relación con los políticos e industriales: estos últimos en tanto desarrollan aplicaciones a regular; los políticos en tanto deciden las normas de comercialización y controles.

Así, los investigadores están a favor de una regulación al nivel de los industriales y los consumidores vía controles de comercialización e información a los consumidores. Al contrario, consideran que la regulación no debe afectar las actividades de investigación dejando que se produzcan conocimientos que reduzcan las incertidumbres. Son escépticos, hasta críticos, respecto de la puesta en marcha de un código de conducta que permita definir el marco de una “investigación responsable” en nanotecnología.⁵

Aunque sean consultados para su elaboración, consideran tal código difícilmente practicable. “El problema es que mientras no tengamos todos los datos científicos no sabemos que es conducirse bien” —sugiere Martín (Entrevista a Martín, químico y estudiante doctoral de la Université Paris-11, 29 de junio de 2010). Los investigadores discuten inclusive la posibilidad de ser responsabilizados por la utilización que se hace *a posteriori* de sus investigaciones. “¡Es un escándalo! Siempre igual, no podemos ser responsables de la mala utilización de algunos de nuestros productos. Si a un oficial de policía lo atropella un mal conductor, no es el constructor del automóvil el responsable” —plantea Rafaela (Entrevista a Rafaela, química y profesora universitaria con dedicación exclusiva en el Collège de France, 4 de marzo de 2010).

5. El código de conducta es una iniciativa de la Dirección General de Investigación de la Comisión Europea. Es frecuentemente mencionada por los funcionarios europeos para demostrar su voluntad en materia de “desarrollo responsable” de las nanotecnologías (Laurent, 2010).

En síntesis, los argumentos de los investigadores se inscriben en una lógica racionalista y legalista que condiciona la gestión de los riesgos (responsabilidad de organismos del Estado) a una previa evaluación confiada a los científicos. Una lógica cuestionada desde los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología que plantean en términos de co-producción (Jasanoff, 2004) la generación de conocimientos científicos y de normas destinadas a enmarcar la producción y los usos de las tecnologías proponiendo una experticia más distributiva (Nelkin, 1975; Jasanoff, 1990; Latour, 1999; Millstone y van Zwanenberg, 2000; Callon, Lascoumes y Barthe, 2001; Collins y Evans, 2007; Joly, 2007). Se trata de una lógica que, pese a estos cuestionamientos, actualiza una concepción de la ciencia como campo autónomo, con dinámica propia, independiente de los intereses económicos y políticos.

Fronteras adentro: *riesgo nano* en el laboratorio

Los discursos de los investigadores en nanociencias sobre *riesgo nano* muestran la persistencia de una lógica tradicional de la experticia racionalista y secuencial: primero se realiza la evaluación científica; luego, con los insumos provenientes de dicha evaluación, se regula. Ahora bien, sus juicios también movilizan experiencias y registros de justificación más diversificados. En particular, cuando se refieren al laboratorio, donde los discursos (y las prácticas asociadas) están interpelados por la necesidad de fabricar coordenadas cognitivas y normativas que les permitan manejar ese riesgo en su ejercicio profesional. Aun asumiéndose informados y conscientes del peligro potencial que representan las sustancias nanométricas, estas coordenadas permiten a los investigadores relativizar su peligrosidad en la rutina del laboratorio.

El riesgo nano: uno entre otros

La peligrosidad de los nanomateriales se relativiza en relación a otros riesgos ya presentes en la vida de laboratorio: productos químicos, sustancias biológicas peligrosas, rayos X, rayos láser, ondas electromagnéticas, etcétera. Para los investigadores, el riesgo

de las sustancias nanométricas se centra menos en el uso de nanomateriales que en las técnicas potencialmente peligrosas pero no específicas de las nanotecnologías.

Así lo sugiere Romina, enumerando riesgos que “no están tan ligados a las nano” sino a las técnicas que necesita operar para medir capas nanométricas (rayos X, haces de neutrones, etcétera) y a “todo lo que está en proceso” durante la fabricación de muestras: la acetona para limpiar las muestras, las resinas, “todo lo que es químico, de hecho”. Hay también riesgos ligados a las bajas temperaturas, las bajas tensiones, “pero es más o menos normal en la investigación” —agrega (Entrevista a Romina, 24 de septiembre de 2010). Desde esta perspectiva, la relación entre peligro (ligado al uso de ciertos instrumentos genéricos) y sustancias nanométricas se percibe como indirecta.

Entre los peligros presentes en los laboratorios, los riesgos químicos (y, en menor medida, biológicos) aparecen como referencia para enmarcar la peligrosidad de las nanopartículas, insistiendo en la capacidad de los investigadores, de los equipos y las instituciones, de responsabilizarse por su manejo. “Yo pienso que si la gente ya trabajaba correctamente en química... el *riesgo nano* es un producto químico particular” —afirma Carlos (Entrevista a Carlos, 31 de mayo de 2010).

Algunos investigadores insisten en que el riesgo deviene químico cuando las nanopartículas se colocan en una solución. El ocuparse del *riesgo nano* se reduce así a los medios destinados a la prevención del riesgo químico, sean procedimientos, reglas o dispositivos de protección individual o confinamiento de los productos peligrosos.

Familiaridad y subestimación del riesgo

La relativización del *riesgo nano* entre otros riesgos del laboratorio conduce a preguntarse cómo se vinculan los investigadores con los riesgos de trabajo. En esa dirección, algunos entrevistados destacan la circulación de información al respecto, sea en los pasillos, en seminarios internos, campañas de información o conferencias donde las presentaciones sobre los avances en nanotoxicidad convocan una participación cada vez más numerosa, como nos sugería Mariela (física, investigadora, jefa de equipo y del servicio del Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives).

La circulación de conocimientos y su discusión al seno de las instituciones científicas, sea para actualizar las normas de prevención o, al contrario, para relativizar los peligros, es valorada positivamente; pero en contraposición a esta valoración positiva del conocimiento en relación al riesgo aparecen otras justificaciones enraizadas en tradiciones de trabajo.

Pienso que hay una tendencia entre los investigadores a subestimar los riesgos. Eso es claro porque son cosas que conocemos, que nos son familiares, y bueno, tenemos una tendencia. ¿Pero siempre fue así? Me acuerdo cuando era joven investigador que limpiábamos las piezas en grandes piletas donde metíamos tricloroetano. No usábamos ni guantes y limpiábamos eso. Y ahora son productos prohibidos en los laboratorios. Prohibidos, creo que ni se los comercializa de lo peligrosos que son. Lamentablemente siempre fue así (Entrevista a Pedro, físico e investigador del Centre National de la Recherche Scientifique, 23 de abril de 2010).

Esta subestimación del riesgo se conecta con el cuestionamiento que hacen los investigadores acerca de la novedad de los objetos manipulados. En realidad, para muchos de ellos, las nanotecnologías son una re-denominación de objetos más ancianos, como las *partículas ultrafinas* para los toxicólogos o los *coloides* para los químicos.⁶

6. Las partículas ultrafinas son partículas de diámetro inferior a 0.1 micrómetro (lo que incluye las nanopartículas manufacturadas en cuestión cuando hablamos de nanotecnologías). Los coloides son partículas en suspensión (eventualmente de tamaño manométrico) que están dispersas en un fluido.

Los químicos tienden a considerar que no hay nada nuevo en las nanotecnologías ya que siempre trabajaron a la escala nanométrica.⁷ Consecuentemente, se reafirma la tendencia a subestimar los riesgos por la historia de familiarización con los productos, las técnicas y el medioambiente en el cual experimentan: “es bastante humano; cuando estamos familiarizados con un riesgo, lo subestimamos” —sintetiza Pedro (Entrevista a Pedro, 23 de abril de 2010).

De naturaleza, frecuencia y cantidades

Cuando no son provistas por empresas o laboratorios públicos especializados en la síntesis de nanopartículas, los grupos de investigación fabrican sus sustancias nanométricas (nanopartículas u otras clases de nano-objetos). El riesgo varía, según los investigadores, en función de la técnica de fabricación:

Me enseñaron a hacer nanotubos, lo que llamamos nanotubos por CVD [*Chemical Vapor Deposition*], en un horno. Es muy simple, nada peligroso para la salud. El proceso de fabricación no es peligroso. En cambio cuando hacía la tesis estaba en un laboratorio muy conocido por la fabricación de tubos. Claro, tomábamos todas las precauciones necesarias pero era verdaderamente asqueroso. Se hace por arcos eléctricos: agarrás barras de grafito, lápices de madera y los rompes, pones dos así y balanceas unos tres mil voltios, una cosa de locos, mucha corriente y eso explota, hace mini-explisiones, te ponés protección en los ojos. Cuando abris la campana para recuperar el polvo hay que estar bien equipado, la máscara de nanopartículas, los guantes, todo, y recuperás el polvo que explotó. Es asqueroso (Entrevista a Roberto, 5 de mayo de 2010).

Los investigadores relativizan el *riesgo nano* en función de la naturaleza de la manipulación (según las técnicas empleadas como evidencia la cita anterior) así como de la frecuencia del uso y las cantidades manipuladas. Activan así un doble criterio de demarcación entre, por una parte, aquellos que sintetizan y aquellos que utilizan los nano-objetos (los primeros estarían más expuestos) y, por otra parte, entre prácticas científicas y prácticas industriales (siendo las segundas más peligrosas por las cantidades manipuladas y la frecuencia de manipulación).

En efecto, los trabajadores de la industria se consideran más expuestos que los investigadores, quienes manipulan algunos gramos por año: “no prestamos demasiada atención. Honestamente, no... porque en principio una gran parte de la síntesis se hace afuera. Después nosotros manipulamos los nano-objetos, pero bueno, en muy, muy pequeña cantidad” —agrega Pedro (Entrevista a Pedro, 23 de abril de 2010).

El estado de las sustancias nanométricas determina la importancia del riesgo

El peligro es también diferenciado según el estado de la sustancia nanométrica que se manipula: nanopartículas o nano-dispositivos integrados, polvo fino o nanopartículas en solución, nano-objetos aglomerados, etcétera. En particular, se consideran limitados los riesgos de los materiales nanoestructurados, en los cuales motivos grabados en dimensiones nanométricas se integran a una muestra de mayor dimensión: son los riesgos del mismo material a la escala macroscópica.

En el equipo usamos nanotubos de carbono, los manipulamos. Considerando la manipulación que hacemos, no hay riesgo aunque resten nanopartículas. Pero eso no representa riesgo para nosotros porque las nanopartículas se depositan sobre algo, al menos que rompamos el objeto y lo pongamos en nuestra nariz (Entrevista a Cristian, ingeniero e investigador del Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales, 21 de abril de 2010).

7. Una minoría de investigadores resalta, contrariamente, la importancia de considerar el riesgo por la novedad de los productos y experiencias realizadas: “yo creo que el problema de los nanotubos es que es nuevo y no sabemos si es peligroso o no. Después, si tomás todas las precauciones que deben tomarse para estar seguro hay cero riesgo, no hacés nada, eso es seguro” (Entrevista a Rodolfo, ingeniero y estudiante doctoral, 22 de abril de 2010).

El *riesgo nano* toma dimensión según el campo de investigación: la nano-electrónica o la óptica guiada utilizan solamente materiales nanoestructurados que presentan menos riesgos que los campos que trabajan con nanopartículas en polvos. El riesgo depende también del avance del proceso experimental. Se debe prestar más atención al abrir el *sachet* del polvo de nanopartículas manufacturadas que una vez puestas en solución. En la solución, el riesgo se categoriza como “químico”. Inclusive se considera menos importante que otras soluciones químicas (ácido fluorhídrico, acetona). “Me reuní con gente de seguridad. Mientras los nanotubos estén diluidos en agua podemos entrar en la sala limpia porque no hay riesgo de que se propague, y los depositamos rápido en fase sólida. Ahí no hay nada de riesgo que se propague” —afirma Rodolfo (Entrevista a Rodolfo, ingeniero y estudiante doctoral del Office National d'Études et de Recherches Aéropatiales, 22 de abril de 2010).

Esos conjuntos de argumentos evidencian la percepción matizada de los investigadores respecto de los peligros a los que se exponen manipulando sustancias nanométricas. Investigadores e instituciones científicas deben considerar el *riesgo nano*, pero las condiciones de uso en los laboratorios (dosis muy pequeñas, nanopartículas en solución, aglomerados, etcétera) hacen que el riesgo se defina controlado.

Explicitan así un punto de equilibrio entre relativización y preocupación: “hay muy poco riesgo pero intentamos tomar las precauciones como si tuviéramos el máximo de riesgos a considerar” —comenta Daniel (Entrevista a Daniel, físico e investigador del Centre National de la Recherche Scientifique, 4 de mayo de 2010). “Desde el principio lo dijimos, como no sabemos si el material es tóxico partimos del principio de que es tóxico y hay una verdadera toma de conciencia” —agrega Carlos (Entrevista a Carlos, 31 de mayo de 2010), el responsable en seguridad ya mencionado.

La regulación colectiva del *riesgo nano* en el laboratorio

Los investigadores consultados tienden a relativizar el *riesgo nano* en el laboratorio, en base a las experiencias e interpretaciones de sus rutinas de trabajo. Sus juicios sobre la nanotoxicidad difieren entonces en función del contexto de producción y uso de nanomateriales: son precavidos respecto de la evaluación y la gestión de la nanotoxicidad fuera del laboratorio pero caracterizan de manera más marginal el riesgo al interior.

En esta parte del artículo, veremos que, más allá de esta valoración marginal del riesgo, éste se regula en el laboratorio vía procedimientos institucionales, aunque los investigadores admitan que dichos procedimientos no están necesariamente actualizados ni sean siempre respetados. Esta regulación se inscribe en un modelo clásico de gestión del riesgo basado en los principios de la higiene industrial donde las medidas de exposición (dosis recibidas) constituyen el espacio de cálculo pertinente para evaluar el riesgo (Chateauraynaud y Torny, 1999). La regulación se presenta como forma de limitar la exposición de los trabajadores imponiendo equipamientos de protección y reglas de *buena práctica* (L'Allain y otros, 2015).

Prácticas que continúan, preocupaciones que se renuevan

Las medidas de protección frente al *riesgo nano* están en continuidad con la regulación de otros riesgos ya presentes en el seno del laboratorio, en particular el riesgo químico: “es una continuidad, cuando miramos en términos de método de análisis de puesto de trabajo, nos acercamos enormemente a la problemática ligada al riesgo químico” —afirma Carlos, aclarando que se toman medidas “como en química, salvo que en lugar de contar el número de partículas de un contaminante químico presentes en un lugar de trabajo, medimos una cantidad de nanopartículas o de nano-objetos presentes” (Entrevista a Carlos, 31 de mayo de 2010).

La prescripción de reglas de seguridad tiene como eje los equipamientos de gestión cotidiana del riesgo: se manipula bajo campana, con guantes, máscara y anteojos, “como lo haríamos al manipular acetona o metanol o cosas así” —dice Pedro (Entrevista a Pedro, 23 de abril de 2010). Otro punto que se destaca es el acompañamiento de visitantes o nuevos integrantes del laboratorio durante sus primeras actividades experimentales y, más generalmente, la formación de jóvenes investigadores a la vida de laboratorio. Las discusiones respecto de las cuestiones de riesgo se dan cotidianamente en torno de la mesa de laboratorio o durante las reuniones, lo que permite difundir información sobre peligros y procedimientos. Como agrega Carlos: “se trata de intercambios permanentes. Nos pasa de hacer reuniones formales pero es más un diálogo permanente” (Entrevista a Carlos, 31 de mayo de 2010).

Los protocolos de seguridad y las formaciones pueden variar de un laboratorio a otro, de una institución a otra: “no hay normas actualmente, que se apliquen a los nanotubos. Cada laboratorio hace un poco como quiere, tengo la impresión” —cuenta Rodolfo (Entrevista a Rodolfo, 22 de abril de 2010).

Algunas instituciones pusieron en marcha reglas y seguimientos médicos específicos. Las opciones en términos de protección y reglamentación son más evidentes para quienes experimentaron modelos alternativos. Es el caso de investigadores que circulan de una institución a otra viendo similitudes y discrepancias. En esa dirección, Carla (ingeniera, investigadora en nanobiotecnología del Centre National de la Recherche Scientifique) lamenta no recibir visita médica ni ser capacitada en seguridad en su lugar de trabajo, cosa que sucedía en una institución en la que se desempeñó anteriormente.

Algunos laboratorios tienen, por su parte, protocolos avanzados. Es el caso de un laboratorio que pone a punto una planta piloto de producción de nanotubos de carbono, para cuya construcción desarrolló un estudio de riesgo. Esta planta participa del proyecto europeo *Nanosafe* que tiene como objetivo, entre otros, poner a punto procedimientos de evaluación y de validación de equipos de protección. Así, mientras algunos de los investigadores no se preguntan sobre la permeabilidad de sus equipos de protección, otros se interrogan sobre la adecuación de dichos equipos a las nanopartículas cuyas propiedades son poco conocidas: “usamos guantes pero los guantes, ¿dejan pasar los nanotubos o no? No sabemos. Lo mismo con la máscara. La usamos, pero ¿está calificada para eso? No, no sabemos, no está certificada para eso” —comenta Rodolfo (Entrevista a Rodolfo, 22 de abril de 2010). Estos cuestionamientos sobre la eficacia de los equipos se mantiene mientras los laboratorios eligen el equipamiento que conviene (Vinck, 2006).

La regla y la aplicación de la regla

Ahora bien, aunque haya dispositivos reglamentarios, los investigadores disienten en su apreciación sobre cómo se aplican. Considerar los riesgos, señalan, no depende únicamente de la existencia de dispositivos previstos por las instituciones de pertenencia. En esa dirección, despliegan diversos argumentos para explicar la buena o mala aplicación de las normas de seguridad en los cuales el *factor humano* aparece como el eslabón débil.

En los instrumentos hay mucha más seguridad porque no hay factor humano, es la máquina que fue concebida para hacer eso. Está lo humano que la concibe, pero si hay una pequeña fuga todo se corta, suena la alarma y todo el mundo evacúa. Los riesgos son frecuentemente más humanos porque la máquina, en general, esperamos que esté bien diseñada (Entrevista a Rodolfo, 22 de abril de 2010).

En línea con este tipo de explicación, Carlos plantea que quien “pasa la línea amarilla” es considerado “atrevido” y su “comportamiento desviado” lleva a reprimendas. “Lo digo

seguido, si lo agarró con el azote líquido sin los anteojos, los guantes y el guardapolvo lo cuelgo de las cañerías... Al principio hace reír mucho, como a ustedes, pero prestan atención. Ya me escucharon gritar varias veces en el edificio” —afirma (Entrevista a Carlos, 31 de mayo de 2010).

La aplicación de las reglas se presenta como resultado de la voluntad personal asociada a situaciones que exigen su respeto y el uso de equipamientos de protección individual:

Se trabaja más o menos limpiamente, la gente toma más o menos precauciones. Normalmente hay que ponerse guantes, máscara, pero después es siempre igual, depende de cuánto tiempo pases enfrente. Si tenés que pasar un día en los solventes prestás más atención a lo que vas a hacer. Si pasás cinco minutos no sirve de nada ponerse una máscara, ese tipo de cosas, pero claro que hay gente que manipula de cualquier forma (Entrevista a Rodolfo, 22 de abril de 2010).

Algunos investigadores cuestionan esta explicación de base individual con razones que definen *culturales*. En esa dirección, la actitud frente al riesgo no sería tanto una cuestión de voluntad personal sino que dependería de la formación inicial de cada profesional interpelada por cierta *cultura disciplinaria*. Químicos y biólogos se definen más atentos por trabajar históricamente con sustancias tóxicas. Esta atención disminuiría entre los físicos: “nuestros laboratorios de física no son muy abiertos a todo lo que es seguridad... a nuestra comunidad no le gusta eso” —afirma Carla (Entrevista a Carla, 24 de junio de 2010).

Estas lecturas reducen la consideración y gestión del *riesgo nano* a un asunto de norma social (prevención de comportamientos desviados) o de cultura científica (disciplinas que tienen o no la *cultura del riesgo*). Ahora bien, las explicaciones socio-psicológicas o culturales no agotan los modos de existencia de los riesgos en los laboratorios estudiados. Otros investigadores subrayan, por ejemplo, el rol crucial que juegan las dinámicas de organización colectiva. Así, ciertos laboratorios parecen controlar mejor la *buena aplicación* de las reglas y sancionar eventualmente su incumplimiento. “En el laboratorio donde estaba antes, si salíamos de la sala de manipulación con los guantes eran tres días sin manipulación” —comenta Rodolfo (Entrevista a Rodolfo, 22 de abril de 2010).

En ese sentido, la regulación de los riesgos en el laboratorio es también producto de la activación conjunta de regulaciones de control y de regulaciones autónomas (Reynaud, 1989). Las primeras dependen de las instituciones de pertenencia mientras las segundas son producto de ajustes colectivos ligados a las dinámicas internas de cada laboratorio.

A este juego de co-producción de las regulaciones se agrega el rol de las relaciones entre los laboratorios y los grupos periféricos relevantes para la gestión de los riesgos. Es el caso, como dijimos, del servicio de higiene y seguridad pero también de la medicina del trabajo, también presente en algunos centros de investigación. Los vínculos entre equipos de investigación y medicina del trabajo permiten, en algunos casos, generar conocimientos conjuntos y ajustar los protocolos:

La medicina del trabajo se implicó en eso, intentando definir qué podíamos hacer sin hacernos tampoco las cosas más difíciles. Nosotros recibimos los nanotubos de carbono en polvo y el riesgo está esencialmente cuando abrimos el envase. No todos lo hacemos. Sólo los químicos e igual no lo hacen todos los días. Entonces pensamos en conjunto un procedimiento inteligente para hacerlo y tratamos de hacerlo lo mejor posible. Últimamente introdujimos además un saco de guantes y después podemos limpiar el saco. El otro aspecto es que los residuos no parten

en la piletta (Entrevista a Carmen, química y jefa de equipo en el Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, 5 de mayo de 2010).

Por otra parte, además de dialogar con estos actores periféricos, los investigadores tienen que manejar otra de las particularidades del mundo académico: la circulación de visitantes.

A diferencia de lo que sucede en la industria, las infraestructuras experimentales de los centros de investigación académicos reciben investigadores externos que las utilizan por períodos relativamente cortos y no aprenden, por ese motivo, a aplicar las reglas de seguridad: “hay mucha gente nueva que llega todo el tiempo y eso fragiliza la organización. Globalmente, en relación al número de personas que pasan por la sala limpia, anda más o menos bien” —sugiere Rodriga (Entrevista a Rodriga, ingeniera e investigadora del Centre National de la Recherche Scientifique, 18 de junio de 2010) resaltando, como señaláramos anteriormente, la importancia del acompañamiento y la formación para resolver esa situación.

Así, la percepción del *riesgo nano* en el laboratorio se asocia a las reglas y dispositivos que le dan forma; está ligada, en particular, a la consideración de otros riesgos, fundamentalmente los químicos, incorporándose a un mundo ya poblado por dispositivos de gestión de los riesgos que sustentan un sentimiento de que “todo está bajo control”. Depende, además de las determinaciones disciplinarias o de la actitud individual de los investigadores de cara al riesgo, del contexto institucional y organizacional en el cual éstos actúan, contexto que suma características del medioambiente tecnológico y del espacio experimental. Y depende también, como vimos, de la capacidad de los equipos y las instituciones para hacer aplicar ciertas reglas convirtiendo el riesgo en un desafío colectivo para los investigadores.

Conclusión

Mary Douglas (1996) sugiere que el riesgo no se reduce a la probabilidad de que un evento suceda sino que se despliega en función de la posible magnitud de sus consecuencias para aquellos que lo consideren. La significación que asuma dependerá entonces del lugar en el cual se sitúe quien lo refiera siempre en vínculo con esos efectos a los cuales lo asocie. Nuestros entrevistados, hombres y mujeres de diferentes edades, formaciones de origen (químicos, biólogos, técnicos, físicos e ingenieros), momentos de sus carreras, pertenencias institucionales y especialidades, difieren en cuanto a la gravedad que le imprimen, la preocupación o el relativo escepticismo con el que lo narran, el carácter probabilístico o más cualitativo que le otorgan. Pero más allá de estas diferencias sus juicios sobre el *riesgo nano* coinciden en una serie de puntos que permite mapear de manera general su perspectiva.

En primer lugar, los investigadores caracterizan riesgos diferentes en función del contexto de producción y uso de los nanomateriales. Por un lado argumentan que la nanotoxicidad en laboratorio es un riesgo razonable, entre otros riesgos químicos, en función del tipo, la cantidad y la frecuencia de trabajo que se haga utilizando nanomateriales. Y en función, asimismo, del tipo de nanomaterial con el cual se trabaje. Este riesgo está, además, enmarcado en procedimientos organizacionales e institucionales, aun reconociendo que éstos no siempre estén actualizados o se respeten. Esta caracterización establece una frontera con el afuera del laboratorio, donde tienden a ser mucho más cuidadosos con la incertidumbre respecto de los efectos de las nanotecnologías. Los entrevistados reivindican una precaución que atañe tanto a los procesos de fabricación industrial que involucran nanotecnologías como a la comercialización de productos que resultan de los mismos.

En segundo lugar el riesgo aparece, en sus argumentos, fuertemente marcado por un modelo clásico del tipo racionalista y legalista (Granjou, 2004; Restier-Melleray, 1990) que supone que a la regulación precede una fase de evaluación científica. En ese sentido, explicitan una tensión entre por un lado una lógica de experticia en la cual la producción de conocimiento científico reduciría incertidumbres y, consecuentemente, riesgos, y por otro lado la producción de juicios contextualizados en función de los espacios, rutinas y tradiciones de trabajo. Mientras que el primer tipo de argumentos subraya la permanencia de un modelo según el cual el científico se expresaría únicamente en base a resultados científicos corroborados, el segundo revela un camino más titubeante, donde el investigador moviliza experiencias vividas y se apropia de los recursos disponibles para producir una evaluación que tiene en cuenta el contexto organizacional en el cual ésta se inscribe. En el caso de los nanomateriales, la falta de conocimientos sobre su toxicidad, incertidumbre que afecta incluso su propia definición (Laurent, 2013), refuerza aún más este proceso.

Así, la frontera que establecen los entrevistados respecto del *riesgo nano* dentro y fuera del laboratorio y la doble lectura del mismo en base a la actualización de criterios científicos clásicos o a la referencia a vivencias en sus rutinas de investigadores evidencian la diversidad de mecanismos cognitivos y perceptivos que operan en su definición. Y evidencian también la “necesidad de contextualización de los riesgos” (Granjou, 2004: 335), profundizando las modalidades de argumentación y valorización, y las tensiones que estos argumentos y valorizaciones generan en función de los marcos específicos en el cual éstas cobran sentido.

Agradecimientos

Agradecemos a los entrevistados por su disponibilidad y el tiempo pasado juntos en sus laboratorios, a Francis Chateauraynaud, Josquin Debaz, Jean-Michel Fourniau y Jean Foyer por su participación en el proyecto que permitió la realización del trabajo de campo, y a Céline Granjou y Séverine Louvel por sus lecturas de versiones anteriores del texto.

Fecha de recepción: noviembre de 2015. **Fecha de aprobación:** abril de 2016

Bibliografía

- » ARNALL, Alexander y PARR, Doug. 2005. "Moving the Nanoscience and Technology (NST) Debate Forwards: Short-Term Impacts, Long-Term Uncertainty and the Social Constitution". *Technology in Society*, 27: 23-38.
- » CALLON, Michel, LASCOURMES, Pierre y BARTHE, Yannick. 2001. *Agir dans un monde incertain, Essai sur la démocratie technique*. París: Seuil.
- » CHATEAURAYNAUD, Francis. 2014. "Trajectoires argumentatives et constellations discursives. Exploration socio-informatique des futurs du nanomonde". *Réseaux*, 188: 121-158.
- » CHATEAURAYNAUD, Francis y TORNY, Didier. 1999. *Les sombres précurseurs: une sociologie pragmatique de l'alerte et du risque*. París: EHESS.
- » COLLINS, Harry y EVANS, Robert. 2007. *Rethinking Expertise*. Chicago: University of Chicago Press.
- » DOUGLAS, Mary. 1996. *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales*. Barcelona: Paidós.
- » GILBERT, Claude. 2003. "La fabrique des risques". *Cahiers internationaux de sociologie*, 114: 55-72.
- » GRANJOU, Céline. 2004. "Le travail des experts : analyse d'un dispositif d'évaluation des risques alimentaires". *Sociologie du travail*, 46: 329-345.
- » GRANJOU, Céline y BARBIER, Marc. 2010. *Métamorphoses de l'expertise. Précaution et maladies à prions*. París: Éditions Quæ et de la MSH.
- » INVERNIZZI, Noela, HUBERT, Matthieu y VINCK, Dominique. 2014. "Nanoscience and Nanotechnology: How an Emerging Area on the Scientific Agenda of the Core Countries Has Been Adopted and Transformed in Latin America". En: Medina, I. da Costa Marques y C. Holmes (Ed.). *Beyond Imported Magic. Essays on Science, Technology and Society in Latin America*. Massachusetts: MIT Press. pp. 223-242.
- » INVERNIZZI, Noela y FOLADORI, Guillermo. 2014. "¿Repitiendo la historia? Nanotecnología y riesgos ocupacionales". En: P. Kreimer y H. Vessuri, L. Velho y A. Arellano (Eds.). *Perspectivas latinoamericanas en el estudio social de la ciencia, la tecnología y la sociedad*. Ciudad de México: Siglo XXI. pp. 405-420.
- » JASANOFF, Sheila (Ed.). 2004. *States of Knowledge. The Co-Production of Science and the Social Order*. Londres: Routledge.
- » JASANOFF, Sheila. 1990. *The Fifth Branch: Science Advisors as Policymakers*. Massachusetts: Harvard University Press.
- » JOLY, Pierre-Benoit. 2007. "Scientific Expertise in Public Arenas: Lessons from the French Experience". *Journal of Risk Research*, 10(7): 905-924.
- » JOLY, Pierre-Benoit y KAUFMANN, Alain. 2008. "Lost in Translation? The Need for 'Upstream Engagement' with Nanotechnology on Trial". *Science as Culture*, 17(3): 225-247.
- » JOURNEAY, Shane y GOLDMAN, Rose. 2014. "Occupational Handling of Nickel Nanoparticles: A Case Report". *American Journal of Industrial Medicine*, 57(9): 1073-1076.
- » JOUZEL, Jean-Noël. 2015. "De la critique à la métrique. Circulation transnationale et sélection des savoirs sur la toxicité des nanomatériaux". En: S. Boudia y E. Henry (Dir.). *La mondialisation des risques. Une histoire politique transnationale des risques sanitaires et environnementaux*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes. pp. 155-168.

- » L'ALLAIN, Catherine, CAROLY, Sandrine, DRAIS, Eric y WITSCHGER, Olivier. 2015. "Concevoir la prévention d'un risque émergent: une démarche fondée sur les représentations et les activités". *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* 17 (1). <http://pistes.revues.org/4421>. (23 de octubre de 2015).
- » LATOUR, Bruno. 1999. *Politiques de la nature, comment faire entrer les sciences en démocratie*. París: La Découverte.
- » LAURENT, Brice. 2007. "Diverging Convergences". *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 20(4): 343-357.
- » LAURENT, Brice. 2010. *Les politiques des nanotechnologies. Pour un traitement démocratique d'une science émergente*. París: Éditions Charles Léopold Mayer.
- » LAURENT, Brice. 2013. "Les espaces politiques des substances chimiques. Définir des nanomatériaux internationaux, européens et français". *Revue d'anthropologie des connaissances*, 7(1): 195-221.
- » MILLSTONE, Erik y VAN ZWANENBERG, Patrick. 2000. "Beyond Sceptical Relativism: Evaluating the Social Constructions of Experts Risks Assessments" *Science, Technology and Human Values*, 25 (3): 265-282.
- » NELKIN, Dorothy. 1975. "The political impact of technical expertise". *Social Studies of Science*, 5: 35-54.
- » QUET, Mathieu. 2012. "La critique des technologies émergentes face à la communication promettante. Contestations autour des nanotechnologies". *Réseaux*, 173-174: 271-302.
- » RESTIER-MELLERAY, Christiane. 1990. "Experts et expertise : le cas de la France". *Revue Française de Science Politique*, 40(4) : 546-585.
- » REYNAUD, Jean-Daniel. 1989. *Les règles du jeu. L'action collective et la régulation sociale*. París: Armand Colin.
- » ROCO, Mihail y BAINBRIDGE, William (Eds.). 2003. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Dordrecht: Kluwer.
- » SCHULTE, Paul, GERACI, Charles, ZUMWALDE, Ralph, HOOVER, Marc y KUEMPEL, Eillen. 2008. "Occupational Risk Management of Engineered Nanoparticles". *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(4): 239-249.
- » SCHUMMER, Joachim. 2007. "The Global Institutionalization of Nanotechnology Research: A Bibliometric Approach to the Assessment of Science Policy". *Scientometrics*, 70(3): 669-692.
- » SPIVAK L'HOSTE, Ana y HUBERT, Matthieu. 2013. "Relato hegemónico y controversias de relatos: la memoria en la discusión de un modelo de ciudad". *Revista de Ciencias Sociales*, 30: 123-139.
- » VINCK, Dominique. 2006. "L'équipement du chercheur : comme si la technique était déterminante". *ethnographiques.org*, 9. <http://www.ethnographiques.org/2006/Vinck>. (12 de agosto de 2015).
- » VINCK, Dominique, GALLICE, Perrine, JOUVENET, Morgan y ZARAMA, Gloria. 2007. "Dynamique technologique controversée et débat démocratique : le cas des micro et nanotechnologies". En: P. Goujou, S. Lavelle y C. Lobet (Eds). *Technique, communication et société : A la recherche d'une modèle de gouvernance*. Namur: Presses Universitaires de Namur. pp. 247-266.