



# Nanotecnologías disruptivas

## Implicaciones sociales de las nanotecnologías

Guillermo Foladori  
Noela Invernizzi  
*Coordinadores*



Universidad  
Autónoma  
de Zacatecas



H. CÁMARA DE DIPUTADOS  
LIX LEGISLATURA

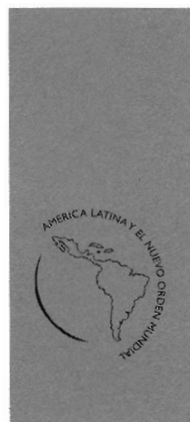


**CONOCER PARA DECIDIR** se denomina la serie que en apoyo a la investigación académica en ciencias sociales, la Cámara de Diputados, LIX Legislatura, acordó iniciar en atención al histórico y constante interés del H. Congreso de la Unión por coeditar obras trascendentes que impulsen y contribuyan a la adopción de las mejores decisiones en políticas públicas e institucionales para México, en su contexto internacional, a efecto de atender oportunamente las diversas materias sobre las que versa el quehacer legislativo.

La H. Cámara de Diputados, LIX Legislatura, establece el acuerdo de coeditar con diferentes instituciones académicas, organismos federales y estatales, así como con autores y asociaciones independientes, investigaciones académicas y expresiones culturales de interés nacional, que coadyuven a las tareas propias del legislador mexicano.

# Nanotecnologías disruptivas

Implicaciones sociales  
de las nanotecnologías



# Nanotecnologías disruptivas

## Implicaciones sociales de las nanotecnologías

Guillermo Foladori  
Noela Invernizzi  
*Coordinadores*



**CONOCER  
PARA DECIDIR**  
EN APOYO A LA  
INVESTIGACIÓN  
ACADÉMICA



Universidad  
Autónoma  
de Zacatecas

Miguel Ángel  
**Porrúa**

---

MÉXICO • 2006

Esta investigación, arbitrada por pares académicos,  
se privilegia con el aval de la institución coeditora.

LA H. CÁMARA DE DIPUTADOS, LIX LEGISLATURA,  
participa en la coedición de esta obra al incorporarla  
a su serie CONOCER PARA DECIDIR

Coeditores de la presente edición  
H. CÁMARA DE DIPUTADOS, LIX LEGISLATURA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS  
MIGUEL ÁNGEL PORRÚA, libretista-editor

Primera edición, junio del año 2006

© 2006  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

© 2006  
Por características tipográficas y de diseño editorial  
MIGUEL ÁNGEL PORRÚA, librero-editor

Derechos reservados conforme a la ley  
ISBN 970-701-745-7

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa  
o indirecta del contenido de la presente obra, sin contar  
previamente con la autorización por escrito de los editores,  
en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y, en su  
caso, de los tratados internacionales aplicables.

IMPRESO EN MÉXICO



PRINTED IN MEXICO

[www.maporrúa.com.mx](http://www.maporrúa.com.mx)

Amargura 4, San Ángel, Álvaro Obregón, 01000 México, D.F.

*La Universidad Autónoma de Zacatecas  
agradece a la Fundación William  
y Flora Hewlett por el apoyo recibido  
para la publicación de esta obra.*

# Introducción

Guillermo Foladori y Noela Invernizzi

CON ENTUSIASMO, científicos y gobiernos nos hablan de la próxima revolución nanotecnológica. Será una revolución radical –cambiará todo, desde los materiales con los que construimos, pasando por los procesos de producción industrial, hasta las propias capacidades humanas, que podrán ser expandidas con nanodispositivos. Se trata de un novedoso proceso de producción, caracterizado por la manipulación de átomos y moléculas, que puede ser aplicado a prácticamente cualquier rama de la producción.

Sus defensores sostienen que será una revolución limpia e, inclusive, limpiadora de los estragos ecológicos de las revoluciones pasadas. Nos permitirá vivir más y atacar las enfermedades en sus primeros estadios, cuando aún no son perceptibles por el propio cuerpo humano. Muchos de los endémicos problemas de los países pobres –se anuncia– podrán finalmente ser sanados. Son tecnologías con poder disruptivo, con capacidad de modificar radicalmente las condiciones económicas y sociales.

A juzgar por el acelerado crecimiento de las inversiones públicas y privadas en nanociencia y nanotecnología, y de los primeros empujes del mercado de nanoproductos, su avance será rápido. Tal vez más rápido de lo que hoy se piensa. Se pronostica que en sólo cinco años el 15 por ciento de todas las mercancías comercializadas tengan componentes o sean directamente producidas con nanotecnologías.

Ello coloca un serio problema, pues además de las promesas, las nanotecnologías implican riesgos ambientales y en la salud; también fuertes impactos en la estructura económica y social y, por cierto, varios cuestionamientos éticos. En las últimas dos décadas ya nos enfrentamos a dificultades para la evaluación de tecnologías, particularmente aquellas relacionadas con la genética humana y los organismos genéticamente modificados en la agricultura. Aun cuando durante esos años surgieron movimientos sociales que cuestionaron varias dimensiones del desarrollo científico-tecnológico y se difundieron metodologías interesantes para evaluar tecnologías, envolviendo crecientemente a la opinión pública, los

tiempos necesarios para la reflexión y la toma de decisiones han sido violentamente cercenados por la voraz temporalidad impuesta por el mercado. Cuando se habla de un mercado de nanoproductos que alcanzará un trillón de dólares en 2011\* es muy posible que no dispongamos del tiempo necesario, a menos que la opinión pública consiga imponerlo.

En este libro abordamos el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología desde una perspectiva social. Esto significa ir más allá de señalar sus riesgos, porque un análisis de riesgos, aun siendo muy importante, sólo suele desencadenar respuestas técnicas para corregir eventuales fallas. Pretendemos abordar problemas más estructurales, que tienen que ver con quién decide lo que se hace y cómo se hace el desarrollo de la ciencia y la tecnología, cuáles son las implicaciones que tecnologías desestructurantes como las nanotecnologías pueden tener en las tendencias económicas, sociales y políticas, cómo afectarán a los países en desarrollo, a las clases trabajadoras, a los científicos, y cómo puede, este tipo de tecnología, cambiar la vida cotidiana de hombres y mujeres en los próximos años.

En el capítulo 1, “Sociología política de la nanotecnología civil y militar”, Gian Carlo Delgado Ramos nos propone “comenzar por el principio”, esto es, por la propia definición de la nanotecnología y sus técnicas para luego analizar el desarrollo de la nanotecnología, tanto en el ámbito civil como militar. Con evidencias sólidas, muestra que ese desarrollo está siendo claramente moldeado por las grandes corporaciones y los fuertes programas de financiamiento público de los países desarrollados. Frente a esta situación, el autor argumenta sobre la importancia de abrir al debate público el avance y la regulación de la nanotecnología y, más aún, sugiere que la sociedad intente un proceso colectivo de redefinición de sus propósitos.

Los “Aspectos éticos y sociales de las nanociencias y nanotecnologías” son abordados por Roger Strand en el capítulo 2. Es cada vez más aceptada la necesidad de realizar estudios ELSA (Aspectos Éticos, Legales y Sociales) de la ciencia y la tecnología. Sin embargo, sostiene el autor, en la medida en que el desarrollo de la nanotecnología está cercado de aspectos inciertos y es esencialmente impredecible, las evaluaciones convencionales de riesgo, los análisis de costo-beneficio y los estudios éticos convencionales tienden a mostrarse insuficientes. Propone, entonces, usar métodos analíticos alternativos como aquellos desarrollados por la ciencia posnormal y algunas corrientes críticas de la filosofía y sociología de la ciencia y la tecnología.

\*La National Science Foundation revisó en 2004 sus estimativas del mercado de nanotecnología. Las previsiones de que éste llegará a 1 trillón de dólares en 2015 fueron adelantadas a 2011 una vez que las inversiones públicas y privadas se incrementaron copiosamente durante 2004 (ETC Group, Nanogeopolitics: ETC Group Surveys the Political Landscape, julio-agosto de 2005, Communiqué núm. 89, disponible en <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=520>).



En el capítulo 3, “La nanotecnología, objetivación de la naturaleza y el futuro en el trabajo humano”, Guillermo Foladori y Noela Invernizzi sitúan la revolución nanotecnológica en el contexto de la evolución del proceso humano de objetivación de la naturaleza y del propio trabajo. Partiendo de estas tendencias históricas y de las relaciones sociales que contemporáneamente han dado nacimiento a la nanotecnología, plantean que su desarrollo acelerado conlleva la tendencia a incrementar el desplazamiento del trabajo humano de los procesos productivos y, con ello, también a desvincular al trabajo humano como criterio de pertenencia y de estimación de los individuos en la sociedad. Recomiendan, por lo tanto, que las políticas públicas sobre nanotecnología incluyan en sus agendas la problemática de las transformaciones en la ocupación, cuestión aún más vital en los países en desarrollo, donde el desempleo y la pobreza ya son alarmantes.

En el capítulo 4, “¿Dos culturas de la nanotecnología?”, Bernadette Bensaude-Vincent aprovecha la controversia suscitada por los nanoensambladores autorreplicantes de Drexler para desentrañar las raíces históricas de las suposiciones metafísicas que subyacen a los dos modelos rivales de nanomáquinas que hoy se perfilan claramente, el uno, propuesto por Drexler y seguidores, y el otro propuesto por químicos como Richard Smalley y George Whitesides. Aunque ambos modelos se inspiran en sistemas vivientes para pensar sus nanomáquinas, hay un notable contraste en sus respectivas visiones que lleva a la autora a preguntarse si están surgiendo dos culturas de la nanotecnología.

A continuación, Michael Mehta explora cómo el desarrollo de dispositivos en nanoescala para la vigilancia, seguimiento y monitoreo pueden crear una sociedad que funcione como un panóptico. En el capítulo 5, “Privacidad *versus* vigilancia o cómo evitar un futuro nanopanóptico”, el autor muestra cómo la nanotecnología puede contribuir a sofisticar los instrumentos de vigilancia mediante la miniaturización extrema de la tecnología de la cámara remota y la mejoría de su sensibilidad, así como incrementar el potencial de la computación y la capacidad de almacenamiento de datos. La vigilancia será también más eficaz en otros ámbitos, como en la salud, monitoreada por nanodispositivos que podrán informar detalles de los clientes a las empresas aseguradoras, empleadores, etcétera. En tiempos de exacerbada preocupación por la seguridad, dice Mehta, el peligro del nanopanopticismo crea una paradoja que puede mostrarse incontrolable. La exacerbación de la vigilancia puede crear una sociedad con menores niveles de confianza, menor capital social y con una postura cívica depresiva conduciéndonos, tal vez, hacia un futuro orwelliano.

A partir del análisis de la nanobiotecnología, el capítulo 6 “Cuando los gnomos vienen marchando. Implicaciones de la nanobiotecnología”, de Guillermo Foladori y Noela Invernizzi, muestra cómo tecnologías consideradas

aparentemente mejores desde un punto de vista técnico pueden tener implicaciones sociales serias. La introducción de nanosensores que naveguen dentro del cuerpo humano para monitorear la salud se presenta hoy como una revolución en los cuidados médicos. Las enfermedades serán detectadas más precozmente y serán atacadas a nivel celular. El desgaste del organismo podrá ser contrarrestado, alargando la vida. Sin embargo, la dirección de estos avances técnicos conlleva determinantes del contexto social tales como una probable agudización de las diferencias entre aquellos que tienen y aquellos que no tienen acceso a esta medicina sofisticada; una mayor dependencia de las personas hacia los laboratorios y empresas de fármacos y, probablemente, a más intervenciones médicas de las necesarias.

En el capítulo final, “Lo pequeño es poderoso”, Daniel Sarewitz y Edward Woodhouse analizan las transformaciones sociales que pueden desencadenarse con la difusión de la nanotecnología. Frente a impactos probablemente enormes, es preocupante —señalan— que la entusiasta decisión de rehacer el mundo con nanotecnología provenga de reducidos grupos de expertos que no han reflexionado sobre las consecuencias de su trabajo más de lo que lo hicieron los tecnólogos del siglo anterior, que introdujeron las armas nucleares o los químicos clorados. Se impone la necesidad del debate público y la reflexión, así como una regulación eficiente y temprana. Para ello, dicen los autores, no parece haber alternativa más razonable que el enlentecimiento de ciertos aspectos de la investigación y la comercialización.

En su conjunto, estos capítulos llaman a desmitificar un cierto discurso sobre la nanotecnología y a reflexionar sobre una revolución tecnológica que puede alterar radicalmente nuestras vidas y condiciones sociales en los próximos años. Aunque frecuentemente es presentada como una fuerza externa e inevitable generada por la propia dinámica científico-tecnológica la nanotecnología es, en realidad, un producto humano sobre el cual podemos incidir.

[Zacatecas, México, verano de 2005]

# Sociología política de la nanotecnología civil y militar

Gian Carlo Delgado Ramos\*

## Introducción

COMO suele escribir Asimov, “comencemos por el principio”. Para ello, tendríamos que abrir esta reflexión con una definición de nanotecnología, no obstante, el problema con el que nos topamos es precisamente en distinguir –definir– puntualmente qué es y qué no es, pues las descripciones varían enormemente, yendo de aquellas conservadoras, a las futuristas o de ciencia ficción.

La descripción lingüística más adecuada tal vez sea aquella contenida en las definiciones oficiales y que en general coinciden en que se trata de una tecnología que opera a la nano escala, es decir que trabaja en dimensiones de entre  $10^{-6}$  a  $10^{-9}$  de metros, o siendo más precisos, aquella que, como indica la Royal Society (2004), opera manipulando estructuras y sus interacciones de entre los 100 nanómetros (nm) hasta el tamaño de los átomos (aproximadamente 0.2 nm). Ello responde a que a esa (nano) escala las propiedades de los materiales pueden ser muy diferentes que aquéllas a la macro escala.

Se trata entonces de la aplicación de la nanociencia para diversos usos (tanto civiles como militares), en un contexto en el que el entendimiento de la “nanocomunidad” por nanociencia alude a la disciplina científica que busca incrementar nuestro conocimiento y comprensión de los fenómenos en la nanoescala. La Royal Society (2004) sugiere por nanociencia el estudio de los fenómenos y de la manipulación de materiales a escalas atómicas, moleculares y macromoleculares, mientras que delimita las nanotecnologías al diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas para controlar la forma y el tamaño a la escala nanométrica.<sup>1</sup>

\*Agradezco al Consejo Nacional en Ciencia y Tecnología (Conacyt) por su auspicio para la investigación doctoral *Los aspectos éticos, sociales y ambientales de la nanotecnología* en el Instituto de Ciencia y Tecnología Aplicada de la Universidad Autónoma de Barcelona.

<sup>1</sup>Vale precisar que la distinción entre nanociencia y nanotecnología es meramente un instrumento analítico pues de fondo conforman un solo fenómeno: el desarrollo del conjunto de fuerzas productivas (producto de una sinergia de factores económico-políticos, morales-culturales, científico-tecnológicos, etcétera).

Aún con estas acotaciones formales de lo que es nanotecnología, en la práctica, una serie de actividades científico-tecnológicas que no se ajustan a esas propiedades ya que trabajan a escalas de micrones (de entre  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  m), están siendo catalogadas por algunos como nanotecnologías, sobre todo en medio de un contexto de creciente estímulo al desarrollo de la miniaturización. De ese modo, viejas actividades netamente del micromundo ahora también están siendo sujetas a financiamiento bajo la modalidad de nanotecnologías.

El asunto se complejiza cuando indagamos detenidamente en el panorama *técnico* de lo que “sí” abarca la nanotecnología puesto que es necesario, no sólo tener nociones de dimensiones humanamente imposibles de percibir directamente con nuestros sentidos, sino porque también es fundamental manejar un creciente abanico de propiedades del nanomundo y del modo en que opera y se “puede” manipular. Esto implica que el desarrollo de la nanotecnología requiere obligadamente de una creciente comprensión de las partículas que “conforman” el nanomundo y sus interacciones.

Como se sabe, las partículas subatómicas son diversas y su clasificación se basa en las diferentes clases de interacciones entre ellas (interacción débil, fuerte y electromagnética).<sup>2</sup> Hay tres clases de partículas: *a*) el fotón,<sup>3</sup> *b*) los leptones,<sup>4</sup> y *c*) los hadrones;<sup>5</sup> estos últimos se subdividen en mesones y bariones.

La dificultad de la manipulación a escala nanométrica se fundamenta entonces en el hecho de que dichas partículas figuran como patrones dinámicos que tienen un aspecto espacial y un aspecto temporal. El primero las hace aparecer como objetos con una cierta masa; el segundo, como procesos que contienen la energía equivalente (Capra, 2005: 278). La *interpretación* científica de tales procesos (cuánticos) tan sólo se encuentra en lo que se podría calificar como

<sup>2</sup>La *interacción débil* es responsable de que muchos núcleos atómicos sean inestables. Puede provocar que una partícula se transforme en otra relacionada por emisión de un electrón y un neutrino. La interacción fuerte sólo actúa sobre los hadrones proporcionándoles una estructura interna complicada y, no se extiende más allá del radio del núcleo atómico ligero. La *interacción electromagnética* se refiere, por un lado a la fuerza con la cual dos partículas cargadas se repelen o se atraen. Cargas iguales se repelen, cargas opuestas se atraen. Por el otro lado, a la fuerza que experimenta una partícula eléctricamente cargada que se mueve a través de un campo magnético (Hoof, 2001: 35, 47, 48).

<sup>3</sup>El *fotón* es una partícula fundamental que puede ser vista como los paquetes de energía en los que la radiación emitida se extiende en una cierta región del espacio.

<sup>4</sup>Los *leptones* son partículas a las que no les afecta la interacción fuerte, pero sí la interacción débil y, si están eléctricamente cargadas también la interacción electromagnética. Son más ligeras que la mayoría y, por lo que se sabe rotan alrededor de un eje pero con la menor velocidad posible (espín  $1/2$ ). El electrón es un leptón.

<sup>5</sup>Los *hadrones* sienten la interacción fuerte lo que les hace muy sensibles a la presencia de otros. Se subdividen en mesones y bariones según su diferencia de masas: los mesones tienen una masa que está entre la de los leptones y la de los bariones. Si el espín es entero, se trata de un mesón; si es de entero y medio es un barión (o antibarión). A su vez, los bariones están compuestos por *quarks* (tres precisamente) y los mesones por un *quark* y un *antiquark*. El cuanto de energía de la interacción fuerte es el gluón, mismo que hace posible la interacción entre los mencionados *quarks*. No obstante, vale indicar que la existencia de los *quarks* no ha podido ser aún comprobada empíricamente.

una “primera etapa” pues el conocimiento sobre éstos y sus interacciones aún es limitado, por tanto, igualmente lo es el control y la manipulación de la materia a esa escala.

Respecto a ese último punto, la manipulación de nanomateriales obliga a una exhaustiva exploración de sus cualidades cuánticas que, por un lado son precisamente las que son explotadas, pero que, por otro, igualmente imponen una serie de limitaciones e índices de incertidumbre. Por ejemplo, como explica la Royal Society (2004), se sabe que los nanomateriales tienen una superficie mucho más larga en comparación con aquellos materiales de la misma masa producidos a gran escala, lo que puede hacerlos químicamente más reactivos afectando su resistencia y propiedades eléctricas. En segundo lugar los efectos cuánticos pueden dominar en su comportamiento afectando su conducta óptica, eléctrica y magnética.

Desde la óptica de la nanotecnología, lo anterior es de gran importancia pues determina los mecanismos de producción de los nanomateriales (que pueden ser de una dimensión –una superficie muy delgada–, de dos dimensiones –como nanotubos o nanocables–, o de tres dimensiones –como nanopartículas). Éstos varían según la perspectiva de aproximación empleada ya sea la denominada *top down* o *bottom up*. La primera alude a la producción de pequeñas estructuras a partir de grandes porciones de material (lógica de miniaturización), de ahí que se le califique como “tecnología de producción a granel” o *nanoscale bulk technology* (caso de ciertos nanotubos de carbono); la segunda se refiere a la construcción de estructuras átomo por átomo y molécula por molécula, también denominada como *molecular nanotechnology* o ingeniería de nanoescala (e.g. nanorrotadores, nanomotores, etcétera). Los aspectos técnicos de medición, manipulación, incertidumbre y riesgo en cada modalidad de producción son, aunque similares, en algunos casos totalmente distintos. Asimismo, el grado de conciencia de lo que se manipula artificialmente parece ser distinto cuando se “miniaturiza” que cuando se “controlan” los átomos. Este hecho hace que entre la propia comunidad de nanotecnólogos haya grandes discusiones sobre los potenciales y las limitaciones de lo que hacen unos u otros especialistas.

Se puede decir entonces que, considerando la gran diversidad de perspectivas interpretativas y operativas propias de las disciplinas científicas y técnicas en las que la nanotecnología se inserta y de las cuales hace uso<sup>6</sup> (pues se está manipulando todo tipo de materia, inerte o viva), la distinción entre lo que es y no es nanotecnología y cuáles son sus campos de acción es crecientemente compleja puesto que, como se indicó, las aplicaciones reales, potenciales o ima-

<sup>6</sup>Su desarrollo incluye ciencias como la física, química, bioquímica y biología molecular. También hace uso de la ingeniería eléctrica y proteica, investigaciones microscópicas y proximales, diseño de imágenes atómicas, química computacional y, de la biotecnología, entre otras como la metrología.

ginarias son múltiples y están llenas de incertidumbre, llegando en algunos casos a borrar la barrera entre la materia inerte y viva. Es de tal dimensión ese empalme, sobre todo en el desarrollo de dispositivos ultraminiaturizados que “imitan” los sistemas biológicos, o aún más, en el desarrollo de *cyborgs*,<sup>7</sup> que para resolver técnicamente esta confusión se introdujo el término de nanobiotecnología<sup>8</sup> para definir correctamente el trabajo convergente de biotecnólogos y nanotecnólogos.

Tómese nota de que estamos hablando de una tecnología y una disciplina científica (la nanotecnología y la nanociencia) que si bien han venido avanzando a pasos agigantados, aún siguen sin ser comprendidas del todo desde que se abriera paso la mecánica cuántica a principios de siglo XX y desde que tomara fuerza con las investigaciones atómicas vinculadas a la industria militar en la década de 1940. El trasfondo de las palabras de Feynman en la década de 1960 respecto a la teoría de las partículas subatómicas, sigue siendo válido a principios del siglo XXI: “...es muy difícil entender las relaciones de todas estas partículas y para qué la naturaleza las quiere, o cuáles son las conexiones entre unas y otras [...] De hecho, el que tengamos tantas partículas desconectadas implica que tenemos mucha información desconectada sin una buena teoría” (Feynman, 1998: 39).

No extraña entonces que los señalamientos generalizados en la élite de nanotecnólogos confirmen que “aún” se desconoce el grueso de principios que rigen los procesos de “ensamblaje” y “fabricación” en la nanoescala de producción (particularmente átomo por átomo).

No obstante, las promesas que genera la nanotecnología son de tal magnitud que varios países y sus multinacionales, el grueso de estados capitalistas centrales, están incrementando exponencialmente sus gastos en investigación y desarrollo. Se dice que entre los campos de operación de mayor potencial en el corto y mediano plazos figuran aquellos que permiten la construcción de estruc-

<sup>7</sup>El concepto original de *cyborg* (contracción en inglés de organismo cibernético) se ha ido modificando y perdiendo al ir aplicando el término a metáforas múltiples, pero sobre todo en la crítica al posmodernismo. Así pues, la idea de *cyborg* nace en la cibernética, un campo de investigación definido por primera vez por Norbert Wiener en 1948 y publicado por la Universidad de Cambridge hasta 1962 en su libro *Cybernetics: or control and communication in the animal and machine*, y que ya incluía la discusión de su aplicación en máquinas y sistemas vivos, sin embargo, no discutió el margen físico de las máquinas y los organismos. Fue hasta 1960, diez años después, que dos científicos de la NASA, Manfred Clynes y Nathan Kline, adoptaron el término de *cyborg* y sugirieron la alteración del cuerpo humano con máquinas para perfeccionar la industria espacial (Clynes y Kline, 1960). Hoy en día, las investigaciones en cibernética y robótica son centrales para la NASA, sobre todo la referente a la inteligencia artificial. Una de las aplicaciones inmediatas será la de los tableros de control de la nueva generación de los aviones militares F15 (Delgado, 2004: 372).

<sup>8</sup>Para Shirley Ann Jackson, presidente del Rensselaer Polytechnic Institute (Estados Unidos), la nanotecnología es resultado de la convergencia de la ciencia de nuevos materiales, la bioingeniería y la biología molecular (Jackson, 2001).

turas materiales novedosas; de aplicaciones en el procesamiento, almacenamiento y transmisión de información; del desarrollo de sistemas sensoriales; o de usos químicos y nanobiotecnológicos. En el largo plazo destaca, entre otras áreas, el potencial del autoensamblaje de la materia (fabricación de autoensambladores o nanofábricas y nanorrobots; si es que eso es técnicamente posible).

Así, con tales frentes de acción se viene abriendo la posibilidad de que los procesos de producción de insumos y bienes agrícolas y manufacturados; los métodos de diagnóstico y tratamiento médico; los problemas medioambientales y las limitaciones bioquímicas de los ecosistemas, los asuntos relacionados a la industria militar, la guerra y la seguridad nacional, o la producción de energía limpia y los patrones de uso y consumo tanto de energía como de materiales puedan ser modificados o incluso revolucionados por la nanotecnología. Es decir, de lo que se está hablando es plausiblemente de una nueva *revolución tecnológica capitalista* centrada en cuatro ejes tecnológicos: la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas (NBIC, por sus siglas en inglés). Como tal, impactaría tanto la esfera económica, política, social, ambiental y diplo-militar. Se trata de un proceso que, insisto, a lo largo del camino se está saturando de mitos y promesas futurísticas, riesgos y amenazas potenciales de gran envergadura; panorama en el que el *tiempo* resulta ser un factor central tanto por la relación existente entre la temporalidad y los “determinismos” científico-tecnológicos, sus trayectorias y perspectivas, como por el hecho de que la noción del tiempo es una función nodal cuando se habla de la naturaleza “real” de las fuerzas productivas, sus implicaciones, rangos de incertidumbre y de medidas precautorias ha tomar.<sup>9</sup> Y es que, “...el cambio tecnológico es determinado parcialmente por la experiencia histórica de los actores y sus perspectivas y percepciones de las promesas o amenazas a futuro de los impactos tecnológicos” (Rip *et al.*, 1994: 4).<sup>10</sup>

### Tiempo y “determinismos”<sup>11</sup> de la ciencia: el caso de la nanotecnología

En general, diferentes perspectivas temporales nos llevan a distintas conclusiones. El quehacer científico-tecnológico no es la excepción, razón por la cual es

<sup>9</sup>Para una reflexión filosófica de la relación tecnología y tiempo, véase Stiegler, 2002.

<sup>10</sup>Los autores suscriben que “...La transformación tecnológica genera impactos según la estructura específica de valores sociales y, estos últimos, pueden o no pueden estar alineados con los propósitos de aquellos que la desarrollan. De hecho, las metas se transforman a lo largo de la implementación y desarrollo de proyectos. Por tanto, a pesar de que los valores estén presentes y sean comunes, es usualmente imposible identificar una óptima estrategia de antemano. Ello implica que la experimentación y el aprendizaje social debe ser una parte integral del manejo de la tecnología en la sociedad.”

<sup>11</sup>No uso el término de “determinismo” para referirme a la visión o creencia ontológica de que los eventos no son arbitrarios y que por tanto son necesariamente “gobernados por una ley natural” en el sentido de que una formulación correcta de las leyes naturales describiría y predeciría los eventos. Bajo

importante analizarlo desde un enfoque no sólo de *cronos* (tiempo espacial de las cosas) sino particularmente de *cairos* (horizonte temporal medido desde el sentido de la vida). Cuando la tecnología es vista desde *cronos* lo importante es el tiempo puntual de investigación y producción, de esquemas de socialización (comercialización), etcétera; es decir de acciones, preocupaciones y especulaciones en el corto plazo (visto desde la historia de la vida, de la humanidad, no de las cosas). Por el contrario, cuando la tecnología es vista desde *cairos* nos enfocamos más bien en el tipo y las finalidades de la ciencia y la tecnología y/o usualmente sobre oportunidades tecnológicas de mediano-largo plazo, de incertidumbres y riesgos. En esta dimensión sugiere colocarse la reflexión de Einstein en torno al debate ético-político sobre el desarrollo de la energía atómica desde el *Bulletin of the Atomic Scientists* cuando suscribió que, "...la preocupación por el hombre mismo y su destino debe constituir siempre el interés principal de todo empeño tecnológico. Jamás debemos olvidar esto entre nuestros diagramas y ecuaciones" (Einstein, 2004: 37). Se trata de una reflexión que debe ser doblemente aplicable a la nanotecnología, por supuesto sin dejar de lado las cuestiones ambientales.

Ahora bien, ambas perspectivas temporales son importantes y ninguna debe dejarse de lado porque se refieren a aspectos que son completamente diferentes aunque estén íntimamente relacionados. A éstas se suma una tercera que, siguiendo la sugerencia de Selin (2006), se podría denominar como "pasaje temporal" (*timescape*). Ésa, como yo la describiría, se enfoca en los momentos claves de las relaciones e interacciones entre los aspectos de *cronos* y *cairos* de la ciencia y la tecnología en relación con su trasfondo histórico y sus "determinis-

---

esta formulación, el determinismo tecnológico por su lado, y el determinismo social por el otro, son considerados como fuerzas autónomas. Tampoco me refiero a la versión compleja de determinismo que busca liberarse de la "simplicidad" anterior al combinar las influencias de la sociedad con las determinaciones biológicas y psicológicas de la sociedad; una aproximación que difícilmente puede explicar totalmente la complejidad y variedad de códigos morales pues, al construir sus explicaciones, hace uso de juicios de valores que se derivan, la mayoría de las veces, de los mismos códigos que se quieren justificar. Además, el determinismo así asumido, en su dimensión social, no explica el cambio de valores producido por la acción de individuos "reformistas" que se salen del contexto social y, a veces, triunfan a pesar de la oposición al mismo. La historia muestra que tal desobediencia social se suele realizar en defensa de lo que se consideraría como un principio moral "superior" a los aceptados en tal o cual momento histórico. Por tanto, uso el término de "determinismo" más bien en el sentido de lo que refiere el concepto anglosajón de "constricción" (anglicismo de *constraint*, cuyo sentido resulta difícilmente de traducir al español). No obstante, opto por usar la palabra "determinismo" pues en español el sinónimo de "constricción" sería "coerción" o "restricción", palabras que tampoco expresan adecuadamente la totalidad del sentido de la idea que aquí se desea suscribir. Por tanto, tómese nota que cuando se habla a lo largo del texto de "determinismo", me estoy refiriendo a la situación en la que algunos eventos o fenómenos podrían ser "determinados" por *e.g.* factores causales, en el sentido en que tales factores influyen su forma, naturaleza y existencia. En tal sentido, tales factores podrían ser considerados como *constraints* y, la forma en la que operan sobre el fenómeno (social o natural, cada uno con sus particularidades) y el modo en el que éstos se vinculan y crean sinergia, determina en gran medida dicho fenómeno. No hay pues consideración alguna de determinantes autónomos y, mucho menos, absolutos (agradezco a Roger Strand su atinada observación de la necesidad metodológica de definir puntualmente lo que aquí se entiende por "determinismo").



mos”; estos últimos con características particulares para cada campo de especialización pero con un patrón general a todas las fuerzas productivas de un sistema de producción dado.

Entonces, cuando revisamos los *pasajes temporales* de la ciencia y la tecnología es recomendable tomar siempre en cuenta sus “determinismos históricos” tanto técnicos como sociales (distinción meramente analítica), pues éstos, a pesar de que pueden ser modificados o relativamente evitados en cualquier momento, generalmente tienen una fuerte influencia en las resoluciones actuales y futuras de la agenda política y de las actividades en investigación y desarrollo, en este caso, en nanociencia y nanotecnología (véase más adelante el nítido caso de su dimensión militar).

Vale decir que los actores que viven en un pasaje temporal en particular, selectivamente adoptan una posición que se ajusta a sus necesidades e intereses de su presente y de su futuro inmediato (generalmente sin tomar en cuenta a las generaciones futuras, ya no se diga a otras formas de vida), todo en un contexto de fuerzas sociopolíticas en conflicto y de fuertes intereses económicos en juego. Su concepción y conciliación sobre las expectativas tecnológicas y la temporalidad de sus impactos es frecuentemente caótica, particularmente cuando se habla de incertidumbres y riesgos. Se trata de un hecho que, en el mejor de los casos, conforme la tecnología en cuestión alcanza niveles más complejos, resulta en una agenda de medidas precautorias cada vez más débil tanto en el tiempo como en el espacio porque, entre otras cuestiones, como escribe Ravetz, “...lo más estricta que sea una prueba [o precaución], lo más segura; pero también lo más costosa dado el tiempo extra, el cuidado y los recursos que requiere...” (Ravetz, 1971: 153).<sup>12</sup>

Así, lo que usualmente encontramos es que el futuro de la agenda científico-tecnológica de cualquier país es definido en una esfera de contados actores inmersos en un contexto de comunicación trastocada, en parte como resultado de los distintos lenguajes que cada comunidad de actores emplea, pero sobre todo, debido a la confrontación de intereses y la correlación de relaciones de poder. Lo anterior explica, como afirma Selin (2005) el hecho de que, “...los pasajes temporales contienen posiciones predispuestas que tienden y necesitan de intercambios de diferentes tipos de conocimiento. Tal diversidad temporal crea tensiones acerca de qué tipo de trabajo debe estar en la agenda, con qué resultados y con qué actores se converge o se tiene una compatibilidad delicada o conflictiva”.

Hoy en día, la agenda en investigación y desarrollo sugiere estar definida, en gran medida, por una élite de actores provenientes de las diversas comuni-

<sup>12</sup>El autor agrega correctamente que “...el grado de significancia debe depender en el juicio de qué grado de seguridad es requerido para tal componente en un contexto general del problema”.

dades involucradas y que, por distintas razones, buscan el desarrollo de campos particulares de la ciencia y la tecnología que en el futuro bien podrían “converger”, o no, como producto del avance de lo que en realidad es un mismo conjunto de fuerzas productivas que el sistema capitalista de producción –los capitalistas– busca desarrollar, y que por tanto, estimula exitosa o limitadamente en pasajes temporales particulares para animar y preservar la acumulación de riqueza puesto que tal es la principal finalidad del sistema actual de producción. Este es el caso de la ya mencionada “convergencia” nano-bio-info-cogno o NBIC<sup>13</sup> que en la propuesta estadounidense viene arropada de un propósito, cuando menos, altamente controversial (y en cierta medida irresponsable): “...el mejoramiento del rendimiento o funciones humanas a través de la integración de las tecnologías”<sup>14</sup> (ilo que sea que eso signifique para la élite capitalista que la comienza a impulsar!). Con tal objetivo, indica la agenda NBIC estadounidense,

...el sector privado necesitará desarrollar acuerdos de alcances sin precedentes para explotar las tremendas oportunidades que ofrece la convergencia tecnológica, [así como] invertir en instalaciones de producción bajo principios, materiales, sistemas e instrumentos completamente diferentes, con creciente énfasis en el desarrollo humano (*sic*) (Roco y Bainbridge, 2002: xii).

De esta suerte, como resultado de los diversos contextos en los que operan los pasajes temporales arriba burdamente descritos, y por las expectativas y especulaciones civiles y militares en el corto y mediano plazos de la tecnología de punta (*e.g.* NBIC), entre otros factores, el financiamiento en ciencia y tecnología es decidido “hoy” en vísperas de impactar en el *futuro*, pero las decisiones tomadas, usualmente están bañadas de “determinismos” –sociales y técnicos– resultantes de programas de financiamiento pasados que en muchos de los casos

<sup>13</sup>La frase “tecnologías convergentes”, “...se refiere a la combinación y sinergia de cuatro provincias centrales (nano-bio-info-cogno) de la ciencia y la tecnología que actualmente están progresando a un rápido ritmo: a) nanociencia y nanotecnología; b) biotecnología y biomedicina, incluyendo la ingeniería genética; c) tecnología de la información, incluyendo el desarrollo de computación avanzada y comunicaciones; y d) ciencias cognitivas, incluyendo neurociencia cognitiva (Roco y Bainbridge, 2002).

<sup>14</sup>“...the improvement of human performance through integration of technologies” (Roco y Bainbridge, 2002). La propuesta agrega que entre lo que se podría obtener estaría la eficiencia en el trabajo y aprendizaje, el mejoramiento de las capacidades individuales sensoriales y cognitivas, cambios revolucionarios en el tratamiento médico, mejoramiento de la creatividad individual y colectiva, el desarrollo de técnicas de comunicación altamente efectivas incluyendo la interacción cerebro-cerebro, el perfeccionamiento de la interacción hombre-máquina incluyendo la ingeniería neuromórfica, el desarrollo de ambientes sustentables e “inteligentes” incluyendo la neuroergonomía, el mejoramiento de las capacidades humanas para propósitos de defensa (militares), el alcance del desarrollo sostenido del uso de herramientas NBIC, y la disminución de la declinación física y cognitiva humana relacionada al envejecimiento de la mente.

arrastran consigo fuertes compromisos e intereses previos que son colocados a la cabeza de las prioridades actuales. Consideraciones de largo plazo generalmente son colocadas en segundo plano o inclusive, en el caso de algunas relacionadas a posibles peligros (*pitfalls*) sociales (incluyendo los éticos) y ambientales ni siquiera son tomadas en cuenta seriamente (Strand, capítulo 2). Si bien, se trata de un aspecto que a pesar de que parece estar cambiando conforme la complejidad de la ciencia y la tecnología lo hace, éste aún está muy lejos de ser suficiente, y es más, no parece necesariamente suceder en todos los casos.

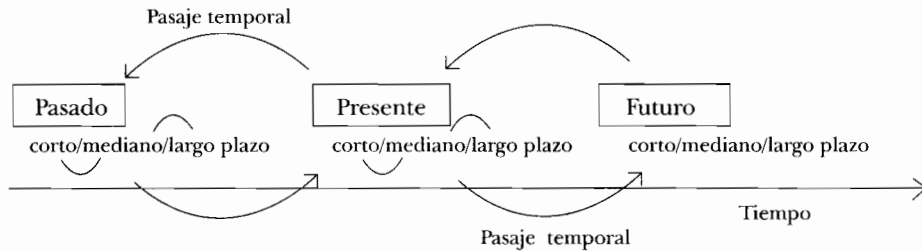
En otras palabras, en muchas ocasiones, las decisiones para desarrollar tal o cual campo científico y/o tecnológico son tomadas con base en inversiones previas en actividades relacionadas al campo en cuestión, así como en base a las condiciones económico-sociopolíticas del momento, y no precisamente como producto de una preocupación filantrópica o de una conciencia de la mencionada élite de actores, que fluye con el objeto de solucionar las necesidades humanas y la conservación del medio ambiente; a menos que, y no siempre, tales condiciones signifiquen un buen negocio y/o amenacen de manera explosiva la viabilidad del sistema capitalista de producción (*e.g.* la acumulación de riqueza).

Por ende, el estudio de los pasajes temporales –como en el que parece nos encontramos– debe incluir una revisión del contexto en el que operan, de sus argumentos y del tipo de codificación del pasado y el presente empleados, así como de la identificación de las partes que definen tales pasajes temporales y sus objetivos concretos y metas que buscan en el futuro (reales o no).

En resumen, desde las tres perspectivas de tiempo (*cronos*, *cairos* y *pasajes temporales*), lo que tenemos es un complejo esquema en el que tres nodos principales de tiempo pueden ser identificados: pasado, presente y futuro (véase figura). Cada nodo, así como la suma de ellos a modo de unidad, tiene sus propios horizontes temporales (corto, mediano y largo plazo). Todos los nodos de tiempo que corresponden ya sea a la perspectiva del desarrollo tecnológico visto desde *cronos* o de *cairos*, están vinculados a numerosos pasajes temporales que figuran como “encuadres temporales” (*frames of time*) de decisión en donde los “determinismos” pasados y presentes persisten o caducan en un cierto modo y grado y en donde es definida la agenda científico-tecnológica futura (en cualquiera de sus horizontes temporales).

En este panorama es importante señalar que es poco útil analizar los *pasajes temporales* de modo aislado. Éstos deben ser analizados como parte de un proceso dialéctico del pasado, presente y futuro. Su importancia, sin embargo, es trascendental pues precisamente dentro de éstos parece ser donde tienen mayor repercusión las transformaciones impredecibles en y de la práctica científica y consecuentemente de la ciencia y la tecnología.

PERSPECTIVA DE TIEMPO  
PASAJES TEMPORALES, CRONOS Y KAIROS



Fuente: Elaboración propia.

No sobra señalar que tal dinamismo de la ecuación entre tiempo y desarrollo científico-tecnológico, además de lo indicado, involucra una serie de aspectos que podrían clasificarse más dentro del rubro de lo sociocultural y que, en efecto, llevan a preguntarse si la ciencia y la tecnología son buenas o malas.

En este punto, el señalamiento de Kranzberg acerca de que “la tecnología no es buena ni mala; más bien es neutral”, se puede interpretar, en palabras de Veraza, como el hecho de que,

...los objetos resultantes del desarrollo tecnológico o valores de uso no contienen un *telos*, una finalidad o un sentido inmanente, por lo que sus formas orgánicas son objetivamente teleológicas (adecuadas a fines vitales), de suerte que la finalidad de las fuerzas productivas sociales inmanentemente es humana y sirven para el desarrollo universal de la humanidad en tanto que sirven para la satisfacción de necesidades (Veraza, 1987: 53-54).

No obstante, puntualiza Veraza,

...sólo un cierto conjunto de relaciones técnicas [científico-tecnológicas] son aptas para cumplir las determinaciones sociales que marcan al capitalismo... Ello se fomenta en que la relación social del capitalismo debe apoyarse y tomar cuerpo, expresarse e imprimirse en la materia y demás, estar en acuerdo relativo, pero forzoso con un conjunto de necesidades, capacidades y actividades naturalmente determinado (1987.: 123-124) (véase Foladori e Invernizzi, capítulo 6 de este libro).

Se puede decir entonces que la esencia del desarrollo nanotecnológico, sus prioridades y direcciones, quedan impregnados de la lógica del sistema

de producción que se trate, de la finalidad para la que es desarrollada, puesto que,

...se alega que la ciencia que se hace dentro de un orden científico en particular refleja las normas y la ideología de ese orden social. Ya no se considera la ciencia como autónoma sino como parte de un sistema interactuante en el que las consideraciones ideológicas internalizadas ayudan a determinar los mismos diseños y teorías experimentales de los propios científicos (Rose y Rose, 1980: 33).

La observación anterior toma mayor trascendencia si se consideran las palabras de Lévy-Leblond (1980: 215), cuando señala que, "...el progreso científico presentado como inevitable sirve para enmascarar las opciones de una clase y las orientaciones político ideológicas de las «innovaciones». Así, la especificidad de la tecnología moderna como hija de la ciencia moderna que es inaugurada por el sistema capitalista de producción, vista desde un punto de vista de la historia general de la tecnología y que tiene como propósito esencial dar cuenta de las posibilidades de paso de un sistema tecnológico a otro (por lo que según Braudel, a su vez determina la historia misma), sugiere obedecer en gran medida a la *velocidad* de su evolución (Stiegler, 2002: 43, 44, 49). Tal velocidad es en buena parte determinada por el factor económico puesto que puede constituir un freno o un estímulo al desarrollo científico-tecnológico.<sup>15</sup> Es un escenario en el que, para Stiegler (2002: 61-64), la innovación es lo que lleva a cabo una transformación del sistema tecnológico, donde la posibilidad del sistema técnico está condicionada por una nueva organización del sistema económico que supone ella misma una acumulación de capital.

Y es que la nanotecnología claramente se viene desarrollando con *prisa*, de ahí que Roco (2004), presidente del Subcomité en Ciencia, Ingeniería y Tecnología a la Nanoescala de Estados Unidos, se pregunte "...¿cómo podemos tomar ventaja más rápido?" Así, a *velocidades crecientes* dados los horizontes de acumulación de capital que sugiere traer consigo la nanotecnología para todos los eslabonamientos productivos y, dado que "el tiempo es dinero", los capitalistas involucrados en el negocio ya vienen presionando para su expedita comercialización y sin traba mayor alguna (como engorrosas consideraciones de la calidad del producto, medidas ambientales o a la salud, limitaciones éticas, etcétera). Mark Modzelewski, director ejecutivo de la Nano Business Alliance y

<sup>15</sup>Para una indagación teórica desde la "Crítica a la economía política", consúltese Marx (1980), en particular los capítulos X y XIII.

miembro del Grupo en Asesoría Técnica en Nanotecnología (para el Presidente de Estados Unidos) contribuye nítidamente a la visión típica de un capitalista haciendo negocio, al señalar que: "...la nanotecnología está llegando fuertemente en los mercados comerciales, por lo que no se trata sólo de hacer ciencia por hacer ciencia" (Brown, 2003: 10).

Pero, el trasfondo del asunto está más bien en una serie de cuestiones como ¿cuáles son las áreas de investigación de punta o estratégicas; por qué; y en qué temporalidad?, ¿cuáles son los potenciales beneficios, límites y peligros sociales, éticos y ambientales de tales aplicaciones?, ¿cómo se propone "resolver" o hacer "manejables" los peligros?, ¿cuáles son las implicaciones de clase (socialmente hablando) del desarrollo nanotecnológico y/o cómo se está diseñando técnica y socialmente la distribución de beneficios?, etcétera. Y es que afirmaciones como la de Antonio Sfiligoj (2003) del Sviluppo Italia Consortium, resultan llamativas, por ejemplo cuando indica que "...la nanotecnología está revolucionando la investigación, cambiando el mundo empresarial y abriendo las inversiones para el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos". Considerando la "ingenua idea" de que el mercado es el medio "infalible" para la distribución de beneficios, cabe preguntarse entonces, ¿de qué ciudadanos estamos hablando?, ¿de qué clase social? Asimismo, ¿cuánto financiamiento público debería otorgarse frente a otras necesidades sociales de orden primario (en términos vitales) que ya pueden ser solucionadas sin necesidad de la nanotecnología? Y, sobre todo, ¿quiénes están controlando el avance de la nanotecnología?

### Quién es quién en el desarrollo nanotecnológico

Producto del fuerte estímulo al desarrollo de la nanotecnología que responde a jugosas expectativas de negocio, valuado para 2015 en un billón de dólares, hoy en día el grueso de la inversión se enfoca en el desarrollo de:

- a) herramientas o instrumental nanotecnológico –e.g. *scanning probe microscope*– SPM, *arrays*, etiquetas moleculares, microfluidos) que se calcula concentra un 4 por ciento de los fondos totales;
- b) nuevos materiales (e.g. textiles, cerámicas, etcétera) con un 12 por ciento;
- c) dispositivos novedosos (e.g. sensores) con un 32 por ciento; y
- d) innovaciones nanobiotecnológicas con un 52 por ciento, el cual se distribuye a su vez en un 54 por ciento en el desarrollo de nuevos medicamentos, 37 por ciento en procedimientos de diagnóstico, 5 por ciento para la administración de medicamentos y, 4 por ciento para el descubrimiento de biofarmacéuticos (Paull *et al.*, 2003: 1146).

En consecuencia, ya son numerosos los productos o servicios derivados de la nanotecnología que se comercializan o que están en fases de precomercialización.<sup>16</sup> En las dos caras del negocio, tanto civil como militar (véase más adelante), están involucrados diversos actores que, como lo he abordado con detalle en otra ocasión, (Delgado, 2002: 233-254), todos provienen de lo que se puede denominar como “triángulo tecnológico” o “red industrial científico-tecnológica”: el Estado nacional y su financiamiento; las empresas y multinacionales que ese mismo Estado protege, regula y subsidia;<sup>17</sup> y las universidades e institutos de investigación gubernamentales y privados. Dicha “red” opera, como tal, en los estados capitalistas centrales puesto que en los Estados capitalistas periféricos generalmente hay uno o dos “polos” del triángulo que son débiles o inexistentes. Su funcionalidad es más nítida en el caso de aquellos sectores estratégicos como lo es el de la alta tecnología con altos grados de encadenamientos productivos hacia adelante y hacia atrás, y con un importante potencial en aplicaciones improductivas o militares.<sup>18</sup> No es casual entonces que, como se

<sup>16</sup>Por ejemplo, en *herramientas* está el negocio de los SPM (Hitachi, Imago, Veeco), el de *arrays* (Affymetrix, BioForce, Nanogen, nanoInk), el de etiquetas moleculares (Dendritic, Genicon, NanoPlex, Nanosphere, Quantum Dot), o el de microfluidos (Caliper, Fluidigm, Nanostream, Surface Logix). En *nuevos materiales* como fibras y cerámicas más resistentes y menos pesadas para aplicaciones militares o aeroespaciales están actores como los Laboratorios Sandia (del Departamento de la Defensa de Estados Unidos), el Institute for Soldier Nanotechnologies (del Massachusetts Institute of Technology, Estados Unidos) o la National Administration Space Aeronautics (NASA), entre otros. En nanobiotecnología, para el desarrollo de terapias (Alnis Biosciences en el desarrollo de nanopartículas polifuncionales, Alza en el desarrollo de nanopartículas de lípidos, NanoCrystal Technologies en el desarrollo de una tecnología para crear nanocristales funcionales para una mayor eficacia en la absorción de medicamentos pues éstos pueden atravesar las membranas celulares, StarPharma en la operatividad médica de una estructura conocida como dendrimero a la que se le pueden “pegar” ciertos grupos drogas y/o dirigirla hacia moléculas o trozos de ADN, algo que resulta útil en la administración, en este caso, de un medicamento contra el SIDA, etcétera), en la ingeniería de tejidos (AngstoMedica para estabilizar y regenerar hueso, Psi-Medica para implantes de hueso o NanoMateria para el desarrollo de nervios), en el desarrollo de biosensores para detectar estructuras moleculares precisas (Agilent, 454 Life Sciences, US Genomics, Nanomix) o, en el desarrollo de partículas para cosméticos (Procter & Gamble y L`Oreal) (véase Mazzola, 2003: 1137-1143).

<sup>17</sup>Lejos de la idea convencional de que el grueso de los mercados internacionales están controlados por transnacionales (*stateless corporations*) que llegan incluso a ser comparadas como entes económicos similares a las economías de Estados-nación, una tendencia que Saxe-Fernández califica como “globalismo pop” (Saxe-Fernández, 1999); más bien me estoy refiriendo, a corporaciones multinacionales cuya sede nacional está bien definida y que es regulada, protegida y subvencionada por los Estados-nación en cuestión, ya sea por medio de un alto gasto público, por la vía de intensas relaciones bélico-industriales o por medio del despliegue de instrumentos de proyección diplo-militar y económico-institucional (e.g. programas del Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional o diversos bancos regionales). Para una conceptualización sobre corporaciones multinacionales (CMN) y *stateless corporations*, véase Thompson y Hirst (2000). Para una indagación del *modus operandi* del Banco Mundial y sus CMN “socias”, véase Saxe-Fernández y Delgado (2004).

<sup>18</sup>En este sentido el Instituto Nacional de Estudios Estratégicos de la Universidad de la Defensa en Washington, D.C. suscribe que: “...la industria estratégica se caracteriza por tener un impacto en un gran número de ramas industriales y generalmente se trata de tecnología de punta. No sólo impacta en la productividad, también permite la generación de mejores productos, de servicios públicos y/o incrementa el poder militar [...] donde, lo estratégicamente importante es lo que ésta genera para el sector militar. Pero, sólo es estratégica para tal o cual país, cuando asegura una fuerte posición en su desarrollo a nivel global” (Delgado, 2002: 234).

puntualizará, la Iniciativa Nacional en Nanotecnología de Estados Unidos vincule intensamente a múltiples actores provenientes de esos tres polos.

Ahora bien, en términos globales, en cuanto a la actividad del sector privado y de ciertos institutos de investigación con proyección comercial, ésta se puede analizar desde diversos ángulos. Por ejemplo, a partir de la determinación de los actores más activos en la movilización de fondos para la conformación de nuevas empresas (*start-ups*) –o “pequeños” actores. También mediante la indagación de aquéllos con mejor desempeño en cuanto al tiempo de ciclo tecnológico –la velocidad de la innovación– y que pueden ser actores de dimensiones variadas (*start-ups*, empresas medias o multinacionales); a través de la identificación de los gigantes con mayor participación en las “tecnologías convergentes” o; mediante la revisión de la concentración de patentes adjudicadas. El análisis ha de insertarse en la dinámica de tales actores en los frentes industriales de relevancia y que son, por el número de patentes registradas desde 1976 hasta 2003, los siguientes: 1. industria de químicos/catalíticos/farmacéuticos con 20,666 patentes; 2. de electrónicos con 9,984 patentes; 3. de materiales con 5,444 patentes y; 4. otras áreas diversas que acumulan 38,043 patentes. Es decir, los tres primeros rubros totalizan alrededor del 65 por ciento de total de patentes en nanotecnología (Huang *et al.*, 2004: 342-343).

Según el National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos, la estimación para 2003 era de cerca de unas 1,700 empresas nanotecnológicas a nivel mundial.<sup>19</sup> Datos de la NanoBusiness Alliance sugieren entre 1,100 y 1,500 empresas de las cuales el 75 por ciento tiene sede en Estados Unidos (Roco, 2004: 893). No es casual entonces que, en 2003, las empresas con mayor *movilización de fondos* en orden descendente todas fuesen estadounidenses: Immunicon (86.2 millones de dólares), Quantum Dot (44.5), Surface Logix (38), Genicon Sciences (34), PicoLiter (27), us Genomics (27), Nanosphere (23.5), Advino Biosciences (15), Ferx (15), Nanogram Devices (9.2) (Paull *et al.*, 2003: 1145).

Entre los actores con mayor actividad en cuanto al tiempo de *ciclo tecnológico* según datos de ese mismo año se colocaban, también en orden descendente: Advanced Micro Devices (Estados Unidos), Intel (Estados Unidos), Fuji Photo Film (Japón), Micro Technology (Estados Unidos), Applied Materials (Estados Unidos), Fujitsu (Japón), Motorola (Estados Unidos), Smithkline Beechman (Reino Unido/Estados Unidos), Bayer Aktiengesellschaft (Alemania), Coming Incorporated (Estados Unidos), Kabushiki Kaisha Toshiba (Japón), L’Oreal (Francia), Lucent Technologies (financiada por Bell; Estados Unidos), NEC (Ja-

<sup>19</sup>No obstante, se considera que el grueso de estas compañías fracasarán o se fusionarán con otras más grandes (tal y como sucedió al principio del *boom* de las empresas biotecnológicas) (véase Watanabe, 2003).



pón), Sony (Japón), 3M Innovative Properties (Estados Unidos), el Instituto Tecnológico de California (TIC por sus siglas en inglés) (Estados Unidos), Dow Coming (50 por ciento de Dow Chemical; Estados Unidos), Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT por sus siglas en inglés, Estados Unidos), Sandia Corporation (laboratorio militar de Estados Unidos), la Junta de Regentes de la Universidad de California (Estados Unidos), Estados Unidos como representante de la Secretaría de la Armada, y Xerox (Estados Unidos) (Huang *et al.*, 2004: 339).

Entre los actores con mayor presencia según su actividad en la *convergencia tecnológica* (NBIC) se perfilaban: el MIT (Estados Unidos), el TIC (Estados Unidos), la Junta de Regentes del Sistema de Universidades de Texas (Estados Unidos), el Instituto de Investigación Scripps (Estados Unidos), Genentech (Estados Unidos), Hewlett-Packard (Estados Unidos), la Junta de Regentes de la Universidad de California (Estados Unidos), Xerox (Estados Unidos), Abbot Laboratorios (Estados Unidos), SmithKline Beechman (Reino Unido/Estados Unidos), Estados Unidos como representante de la Secretaría de la Armada, Merk (Estados Unidos), DuPont de Nemours and Company (Estados Unidos), Eli Lilly (Estados Unidos), Coming Incorporated (Estados Unidos), Lucent Technologies (Estados Unidos), Micron Technology (Estados Unidos), Sandia Corporation (Estados Unidos), Minnesota Mining and Manufacturing Company (Estados Unidos) (Huang *et al.*, 2004: 340).

Por la adjudicación de patentes, sólo en 2003 se perfilaban: IBM (con 198 patentes; Estados Unidos), Micron Technology (129; Estados Unidos), Advanced Micro Devices (128; Estados Unidos), Intel (90; Estados Unidos), la Junta de Regentes de la Universidad de California (89; Estados Unidos), Minnesota Mining and Manufacturing Company (79; Estados Unidos), Motorola (72; Estados Unidos), Hitachi (68; Japón), Xerox (68; Estados Unidos), Canon Kabushiki Kaisha (64; Estados Unidos), Kodak (64, Estados Unidos), NEC (57; Japón), Coming Incorporated (50; Estados Unidos), Applied Materials (47, Estados Unidos), Fuji (42; Japón), Matsushita Electric Industrial (41; Japón), Lucent (37, Estados Unidos), Texas Instruments (37, Estados Unidos), Genetech (36, Estados Unidos), Kabushiki Kaisha Toshiba (36; Japón), MIT (36, Estados Unidos) (Huang *et al.*, 2004: 336).

Además sùmese, entre otros actores, a los gigantes que destacan por su actividad en diversas áreas de la NBIC como lo son Monsanto, Syngenta, Procter & Gamble, DuPont, Pharmacia, Pfizer, etcétera. El caso de sus divisiones farmacéuticas es de particular interés pues éstas esperan una solución en el avance de las NBIC para sus caducas patentes que, para el 2008, se calcula representarán una pérdida de 46 millardos en ganancias anuales para los 23 principales gigantes del sector (datos de Merrill Lynch, citados en Paull *et al.*, 2003).

Si revisamos otro polo del triangulo científico-tecnológico, el de los actores universitarios y de centros e institutos de investigación gubernamentales y privados, nos encontramos con que los más fuertes se ubican en Estados Unidos pues como afirma el Instituto Nacional de Estudios Estratégicos de ese país, "...Estados Unidos con las mejores universidades del mundo e importantes instalaciones científicas, sigue siendo la primera potencia generadora de tecnología" (Libicki 1989: 2). Por ejemplo, entre los más activos para 2003, figuraban: el MIT, el CTR, la Junta de Regentes del Sistema de Universidades de Texas, la Junta de Regentes de la Universidad de California, la Universidad de Rice, la Universidad Northwestern, el Instituto Politécnico Rensselaer, la Universidad de Cornell, la Universidad de Columbia, la Universidad de Princeton, y los laboratorios de los institutos nacionales de salud, entre otros.

En términos generales, en 2004 Estados Unidos se colocaba claramente como el centro neurálgico del desarrollo nanotecnológico a nivel mundial con al menos unos 40,000 científicos, estudiantes o trabajadores calificados en un aspecto puntual de esta tecnología y, con una infraestructura potente y especializada para investigación nanotecnológica emplazada en más de 60 universidades como la Red Computacional en Nanotecnología de la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF, por sus sigla en inglés), la Red Nacional de Infraestructura Nanotecnológica; los corredores de innovación de nanotecnología de Massachusetts, Nuevo México, Nueva York, Michigan, Texas, Illinois, Maryland, Carolina del Norte y Ohio; los Centros de Investigación en Nanociencias del Departamento de Energía, o las instalaciones de la NASA y el Departamento de la Defensa (DOD, por sus siglas en inglés).

En el caso europeo, japonés o chino (ya no así el ruso), la tendencia de estimular y fortalecer la red industrial en sus tres polos es similar, pero el estadounidense es ejemplo obligado pues, como se indicó, se coloca a la cabeza del avance nanotecnológico. Ello es un hecho incluso irremediabilmente reconocido por el competidor más cercano, la Unión Europea (UE), cuando admite que,

...la fuerza de Europa en nanociencias se demuestra a través del hecho de que, durante el periodo de 1997-1999, a la UE le correspondía el 32 por ciento de las publicaciones mundiales, en comparación con el 24 por ciento de Estados Unidos y el 12 por ciento de Japón. No obstante, no parece que la industria capitalice siempre este conocimiento. El análisis de las patentes señala que a la UE le corresponde el 36 por ciento del total mundial, en comparación con el 42 por ciento de Estados Unidos, lo que pone de relieve la dificultad para transformar los resultados de la I+D en aplicaciones (Comisión Europea, 2005: 9).

Tomando nota de lo anterior cabe indicar el tercer polo del triángulo científico-tecnológico: los Estados-nación. Aquí, los países a la vanguardia nanotecnológica (no nanocientífica) son Estados Unidos con cerca de la mitad de las innovaciones, seguido por la UE y Japón (abiertamente socio de Estados Unidos aunque consolidando su propio nicho: una buena parte del sector de las aplicaciones en electroinformática).

*La Unión Europea* determinó en el Consejo Europeo los acuerdos de Lisboa en los que suscribe la intención de alcanzar en el 2010 los niveles de desarrollo científico-tecnológico de Estados Unidos de 2000. Para ello requeriría de una inversión constante de por lo menos un 3 por ciento del producto interno bruto y de unos 700,000 investigadores adicionales. Se trata de una meta que los políticos europeos ven difícil de consolidar y que aún siendo alcanzada, para ese entonces estarían de nueva cuenta por debajo de los niveles estadounidenses de ese año (2010). La preocupación es considerable y queda expresa cuando la Comisión Europea señala que "...si no incrementamos de forma sustancial la inversión a nivel europeo multiplicándola por lo menos por tres para el año 2010, en consonancia con los objetivos de Lisboa, podríamos perder el impulso necesario para mantener la competitividad europea. Tal inversión no debería ir en detrimento de otros programas de I+D, pero sí responder al objetivo del 3 por ciento y centrarse en las áreas donde el desafío es mayor, como la innovación industrial basada en el conocimiento («nanofabricación»), la integración de la interfaz macro-micro-nano y la I+D interdisciplinaria («convergente»)" (Comisión Europea, 2005: 11). Ahora bien, en cuanto a dicho estímulo a la nanotecnología, la UE, desde el Sixth Framework Programme destinó 1.3 millones de euros para el periodo 2000-2006, cifra a la que se suman presupuestos adicionales destinados por cada país miembro a nivel nacional (particularmente provenientes de los 15 miembros iniciales). Súmese el de otros países asociados como Noruega o Suiza que tiene programas de gran relevancia pero independientes a los de la UE. Lo anterior indica una cierta descoordinación en los programas nacionales y regionales de desarrollo científico tecnológico y por tanto nanotecnológico (incluyendo aquí los de los mencionados países asociados), en parte vinculados al hecho de que cada país busca hacerse de las patentes que le corresponden pues cada miembro de la Unión se reserva ese derecho en el sentido de no ceder derechos de patentes a través de "patentes comunitarias". Tal "nacionalismo tecnológico", a la par de otros aspectos que sugieren una relativa "debilidad" en la red "nanoindustrial" europea y ante una red estadounidense íntima y crecientemente fortalecida, se perfila como una limitante de importancia para la UE tal y como lo reconoce la Comisión Europea, "...no parece probable que la UE pueda seguir siendo competitiva a nivel mundial si no se procede a una mayor coordinación y concentración de su actividad a nivel comunitario" (Comisión Europea, 2005: 10). Entre los esfuerzos, se sugiere por ejemplo, además del incremento del financiamiento, la coordinación de las políticas nacionales y el acercamiento de las oficinas de patentes de los estados

miembros, el mejoramiento de la infraestructura mediante el desarrollo de “polos de excelencia”, el apoyo a la pequeña y mediana industria europea involucrada en el desarrollo de la nanotecnología y la creación de un ambiente propicio y coordinado para que las multinacionales europeas se consoliden como actores fundamentales a nivel mundial, todo a la par de fomentar un “espíritu empresarial” en los cuadros de investigadores e ingenieros (Comisión Europea, 2005: 15-21). Según datos de la UE, el financiamiento público total hasta 2004 fue de dos millardos de euros a los que se suman tres millardos más del sector privado, pero, a pesar de tal antecedente de financiamiento y metas fijadas, el posicionamiento europeo en el desarrollo nanotecnológico estará en juego en el periodo del 7th Framework Programme (2006-2012). Por el momento, en el corto y mediano plazo, la UE busca enfocarse más a áreas de los nuevos materiales (nanopartículas, cerámicas, composites, nanocristales, materiales en base carbónica como nanotubos, etcétera); aplicaciones en la industria de la electroinformática para procesamiento, almacenamiento y transmisión de datos; desarrollo de sensores para uso médico y militar; investigación en ensamblaje molecular y en algunas aplicaciones puntuales en nanobiotecnología, y desarrollo de aplicaciones ambientales y de energía (para mayores referencias, véase [www.cordis.lu/nanotechnology](http://www.cordis.lu/nanotechnology)).

*El financiamiento público japonés* ha registrado un incremento constante, pasando de 400 millones de dólares en 2001 a alrededor de 960 millones en 2004. Un 50 por ciento de ese financiamiento es destinado a proyectos bajo la administración gubernamental, el otro 50 por ciento restante en programas competitivos de investigación (61 por ciento en tecnologías de la información y comunicaciones, 15 por ciento en nanofacturas y metrología, 10 por ciento en aplicaciones médicas y biotecnológicas, 8 por ciento en nanomateriales y 8 por ciento en tecnologías para el medio ambiente y energía). La estructura gubernamental está consolidada en el Nuevo Programa de Promoción de la Investigación (que incluye dos subprogramas denominados CREST y ERATO), en el programa de Apoyo a los Proyectos en Nanotecnología y en diversos estímulos desde el Ministerio de Educación, Ciencia, Deportes y Cultura (MEXI). Por su lado, el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) viene impulsando la industrialización de la nanotecnología, por ejemplo, a través de la implementación de una red de “nanonegocios” japoneses vinculados al gobierno y a las universidades. Asimismo, las actividades de la Agencia de Ciencia y Tecnología Industrial y del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada (AIST) concentran unos 2,400 investigadores trabajando en distintos campos de la nanociencia y la nanotecnología. El AIST es responsable directo del “Proyecto de Tecnología del Átomo” que dirige el Programa de Nanotecnología y de Semiconductores de la Nueva Organización de Desarrollo de la Tecnología Industrial en Energía (NEDO) y provee recursos al Programa de Asociaciones en Nanoprocésamiento y al Programa de Apoyo a los Negocios Innovadores de MEMS. Para tales objetivos, Japón viene emplazando una serie de instalaciones

de investigación nanotecnológica a lo largo y ancho del país (Kansai, Chugoku, Shikoku, Tokio, Tohoku, Tskuba, Chubu) y que se coordinan con múltiples institutos y centros de investigación ya existentes en el país. En total se habla de por lo menos unas 115 universidades y 49 “participantes” más. El número de patentes muestran una tendencia a la especialización en semiconductores, dispositivos de almacenamiento y generación de imagen, entre otros avances en el sector de la electroinformática (véase Igarashi, 2003).

Otros actores de importancia pero de dimensiones aún limitadas son Rusia (con tendencia a ser socio dual, tanto de Estados Unidos y la Unión Europea) y China con un prometedor potencial tecnológico (Delgado, 2006), especialmente en el área de los nanomateriales.

*Rusia* cuenta con un potencial nanotecnológico importante, sobre todo por su amplia experiencia en el desarrollo de la tecnología atómica, de ahí que uno de los principales entes gubernamentales involucrado en dicha actividad sea el ministro de Energía Atómica que coordina el Programa en Industria de la Energía Atómica, el Programa en Propiedades Electrónicas y Ópticas de las Nanoestructuras (Ioffe Institute de St. Petersburgo, Lebedev Institute de Moscú, Universidad Estatal de Moscú, el Instituto Novgograd de Microestructuras, Instituto Novosibirski de Física de los Semicoductores), o el Programa en Física del Estado Sólido. Al parecer, no hay un programa que concentre los esfuerzos en nanotecnología y por tanto las cifras totales de financiamiento gubernamental se manejan bajo secreto. Así lo corroboró M.V. Kovalchuck, miembro de la Academia Rusa de Ciencias, en su presentación en el Euro NanoForum 2003 (10 de diciembre de 2003. Trieste, Italia) cuando indicó que: “...es difícil de decir una cifra exacta porque no tenemos un programa centralizador”. Ahora bien, vale puntualizar que, según Roco, “...actualmente cerca del 20 por ciento de la ciencia en Rusia es financiada vía organizaciones internacionales”, una tendencia que se espera se incremente conforme la inversión extranjera penetre la economía doméstica y consecuentemente privatice los centros y/o programas de investigación de interés. La privatización del Instituto de Investigación Delta en Moscú es un caso conocido. En otras palabras, de lo que se está hablando es de la privatización del quehacer científico ruso vía organizaciones internacionales, así como de la infraestructura estratégica, vía su privatización; contexto en el que el capital para la privatización de la infraestructura rusa, indica Roco, “...proviene fundamentalmente de la Unión Europea y Estados Unidos” ([www.wtec.org/loyola/nano/Russia/01\\_03.htm](http://www.wtec.org/loyola/nano/Russia/01_03.htm)). El resultado ha sido, por ejemplo, el lanzamiento, en mayo de 2002, de un esquema de cooperación por parte de la Coalición Nacional de la Industria Rusa (NIC) con el apoyo de su homóloga estadounidense (la USIC por sus siglas en inglés) para el avance de la comercialización de la tecnología rusa. Según se lee en la página web de la

USIC, "...modelado en base a la USIC, la NIC está construyendo una membresía de institutos científicos rusos, compañías de alta tecnología, bancos y fondos de inversión. La NIC trabaja con compañías estadounidenses con el deseo de fundir alianzas en alta tecnología con compañías e institutos rusos, con o sin el apoyo del gobierno de Estados Unidos" ([www.usic.net](http://www.usic.net)). Pero, nótese que por "fundir" se entiende, según los *think-tanks* del Partnership for Prosperity and Security entre Estados Unidos, Rusia-Ucrania-Kazajstán (conformado fundamentalmente por actores de la NIC, la USIC y el Departamento de Energía de Estados Unidos), "...la estimulación de la industria estadounidense para cultivar y desarrollar alianzas de negocio-a-negocio [*business-to-business*]. Así, mientras los retos se mantienen en Rusia y en otras partes, hay una rica experiencia y fondos disponibles para asistir a compañías estadounidenses en la expansión de sus mercados, mejorar sus capacidades y crear nuevas alianzas rentables" (<http://partnerchipsforprosperity.net>). Nótese que se indica de empresas estadounidenses, no rusas, ucranianas o de Kazajstán.

*En China*, aproximadamente 3,000 científicos contribuyen actualmente en nanociencias y nanotecnologías en al menos 50 universidades y 20 institutos de investigación. El proyecto de 10 años en ciencia nanométrica (1990-1999) y una serie de proyectos de investigación han consolidado al país como un actor importante a nivel internacional. La Academia China de Ciencias financia grupos relativamente grandes, mientras que la Fundación Nacional en Ciencia de China otorga financiamiento individual, sobre todo para el desarrollo de nanosondas y nanotubos ([www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Worldwide.Study/ch8.pdf](http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Worldwide.Study/ch8.pdf)). El crecimiento de publicaciones ha sido exponencial en los últimos años lo que la coloca, según estimaciones, en el cuarto lugar a nivel mundial. El número de patentes registradas, aunque también es un dato que destaca, no es algo comparable al anterior. Los cálculos para 2005 indican que China ocupaba la veinteva posición. El fuerte de China, según aprecia la comunidad internacional, está en el desarrollo de nanomateriales, un nicho en el que se puede colocar como actor fuerte gracias a la producción de generaciones cada vez mayores de ingenieros (tres veces más grandes que las de Estados Unidos; en 2001 China registró 39 por ciento de graduados en ingenierías mientras que Estados Unidos sólo un 5 por ciento)

En el resto de la periferia, vale puntualizar que si bien es cierto que existe algún tipo de actividades de investigación nanotecnológica en casi todos los países periféricos con un modesto aparato de investigación, éstos se colocan a la "cola" del proceso debido al tipo de investigación que realizan o a causa de que se encuentran insertados en programas de investigación del norte, factor que los deja subordinados en todo momento pues al final, las patentes y el negocio quedan consolidados en los estados capitalistas centrales (típico esquema deno-

minado de “transferencia tecnológica” o, incluso, de “derrame tecnológico” con “socios” del Tercer Mundo).<sup>20</sup>

Ahora bien, si revisamos este mismo polo de los estados nación desde el ritmo de crecimiento de las patentes en nanotecnología nos encontramos con que éstas han registrado índices exponenciales en todos los estudios realizados. Por ejemplo, según Heines, de 1997 a 2002 la cifra mundial ronda en un 600 por ciento de incremento, pasando de 370 patentes en el primer año a 2,650 en el último. Según Huang *et al.* (2004: 352) el incremento entre 1996 y 2003, sólo en patentes registradas en Estados Unidos, fue de 217 por ciento mientras el resto de sectores registró un 57 por ciento. De cualquier modo, indica Heines (2003), en términos generales los beneficiarios han sido en un 90 por ciento las multinacionales u otros actores privados, 7 por ciento las universidades e institutos de investigación y 3 por ciento las agencias gubernamentales. Ello sugiere que el financiamiento público está siendo invertido de tal modo que el potencial negocio está siendo transferido dramáticamente hacia el sector privado pues se calcula que el financiamiento público totaliza alrededor de la mitad del financiamiento total mundial (público-privado). Tal divergencia se explica fundamentalmente no sólo porque en efecto mucha de la inversión pública se ha destinado al emplazamiento de instalaciones y equipo de investigación, sino sobre todo por el hecho de que los actores públicos involucrados directamente en la I+D se enfocan más en la nanociencia o nanotecnología fundamental, mientras que los actores privados lo hacen en aplicaciones nanotecnológicas que pueden mejorar los productos que ya comercializan o en otras que pueden llegar al mercado en el corto plazo. En otras palabras, esa implícita división del trabajo (ciertamente un tanto borrosa) viene colocando los méritos científicos de un lado y la propiedad tecnológica –como sustento del negocio– en el otro; aunque nótese, no siempre es así. La conflictividad aparece cuando la investigación pública resulta en el patentamiento de procesos o descubrimientos claves pues esos títulos de propiedad figuran como limitantes para el negocio del sector privado en tanto que pueden ser fundamento de aplicaciones nanotecnológicas).<sup>21</sup> Aunque, en ese caso o cuando se trata de patentes en nanotecnología *per se*, usualmente se han hecho convenios con el sector privado a modo de “garantizar su comercialización”.

<sup>20</sup>En América Latina los actores que “destacan” son México, Brasil, Argentina y Chile.

<sup>21</sup>Dejando de lado las cuestiones conflictivas de las patentes en nanotecnología, es pertinente puntualizar que entre los problemas legales que comienzan a presentarse está el empalme de patentes tanto por la ausencia de parámetros puntuales a nivel internacional, como por el tipo de patentes aprobadas que en muchas ocasiones cubren amplios procesos a escala nanométrica o estructuras que abarcan diversos compuestos y no sólo uno en particular y que fuese objeto inicial de la patente. Añádase aquellos aspectos socioeconómicos que implica la concentración de las patentes en unos cuantos actores tanto para el propio rumbo del desarrollo nanotecnológico, así como respecto a los impactos en la definición y delimitación del alcance de los supuestos beneficios de dicha tecnología en términos sociales (me refiero al tipo y modo de su socialización).

Más aún, una revisión de las patentes (sin considerar las pendientes por aprobar) inscritas en la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos, indica que el número de patentes relacionadas directamente con técnicas o innovaciones en “ciencia e ingeniería de nanoescala” entre 1976 y 2002 fue de 61,409 y sólo en 2003 se sumaron 8,630 más.<sup>22</sup> Así, de 2000 a 2003 el incremento de dichas patentes fue del 50 por ciento comparado con el 4 por ciento en el resto de campos científicos durante ese mismo periodo (Huang *et al.*, 2004: 327). De éstas, Estados Unidos se adjudicó el grueso de patentes en esos años (el 60 por ciento), seguido muy por debajo por Japón (10.9 por ciento), Alemania (8.1 por ciento), Canadá (2.9 por ciento) y Francia (2.2 por ciento) (Huang *et al.*, 2004: 280, 330).<sup>23</sup> Lo anterior no es casual pues cálculos de Roco estiman que el gasto de los gobiernos a nivel mundial pasó de 430 millones de dólares en 1997 a 3 millardos en 2003. Un contexto en el que Estados Unidos aporta el 25 por ciento del financiamiento total (Roco, 2004: 892).

Y es que desde la denominada Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, por sus siglas en inglés), Estados Unidos pretende mantener su ventajosa posición al financiar, en 2005, poco más del millardo de dólares (1,081 millones) y programar para 2006 y 2007 1.3 y 1.27 millardos de dólares respectivamente. A esos montos habría que sumar varios millones más en inversión en otras disciplinas generales, como la física, desde las cuales se realizan ciertas investigaciones nanocientíficas pero no propiamente nanotecnológicas, así como el dirigido a biotecnología y a ciertas áreas de especialización como la de los sistemas micro-electromecánicos (MEMS) que no es considerada en este rubro –al menos en Estados Unidos– a pesar de que opere en la frontera del micro y nano mundo. Añádase unos miles de millones más en investigaciones militares a cargo del Departamento de la Defensa (DOD, por sus siglas en inglés).

Para el diseño de la NNI, la Casa Blanca contó con el asesoramiento de la Oficina de Política en Ciencia y Tecnología que incluye al Consejo Presidencial de Asesores en Ciencia y Tecnología, un equipo ahora integrado bajo el nom-

<sup>22</sup>El número de patentes según diversos estudios varía si se considera que, por ejemplo, hasta octubre de 2004 la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos definió que dichas patentes corresponden a aquellas estructuras o procesos a la nanoescala de entre 1 a 100 nanómetros (Clasificación 977). Así, Lux Research, un grupo con sede en Estados Unidos que se dedica a asesorar al sector privado en inversiones en nanotecnología considera que entre marzo de 1985 y marzo de 2005 se registraron en ese país 3,818 patentes con 1,777 aplicaciones pendientes (Choi, 2005).

<sup>23</sup>Los datos, basados en la búsqueda de palabras claves en el título y cuerpo del texto de registro de las patentes, muestran que el número de patentes asignadas por país en el periodo de 1976 a 2002 es: Estados Unidos (37,760), Japón (5,637), Alemania (5,214), Francia (1,617), Canadá (1,528), Reino Unido (709), Suiza (370), Israel (326), China/Taiwán (307), Italia (307), Australia (287), Holanda (268), Corea (247), Suecia (195), Bélgica (176), Dinamarca (99), Finlandia (81), Noruega (55), Singapur (48) y Austria (43). Para el año 2003, los datos son: Estados Unidos (5,228), Japón (926), Alemania (684), Canadá (244), Francia (183), Corea (84), Holanda (81), Reino Unido (78), China/Taiwán (77), Israel (68), Suiza (56), Australia (53), Suecia (39), Italia (31), Bélgica (28), Dinamarca (23), Singapur (20), Finlandia (17), Irlanda (10), Austria (8), China (8) (Choi, 2005: 331).



bre de Grupo Técnico de Asesoría en Nanotecnología. Llama la atención porque en dicho grupo se encuentran sujetos destacados de la élite empresarial estadounidense, aspecto que de entrada sesga claramente la finalidad de la NNI y al mismo tiempo ayuda a posicionar a Estados Unidos a la cabeza de la competencia por el control del mercado nanotecnológico global. Por ejemplo encontramos ahí a Mark Modzelewski (director ejecutivo de la Business Alliance), Stanley Williams (Hewlett Packard), James Baker (Nanobio), William Beckenbaugh (Kornark Technologies), John Belk (Boeing), Edward Boyes (DuPont), James Heath (Cal Tech and NanoSys), Michael Heller (Nanogen), John Kozarich (ActiveX Biosciences), Uzi Landman (Ga. Tech), Juri Matisoo (Asociación de la Industria de los Semiconductores), Chad Mirkin (NanoInk), Cherry Murray (Lucent Technologies y NJ Nanotech Consortium), Judith Stein (General Electric), Kathleen Taylor (General Motors), Thomas Theis (IBM), etcétera (Small Times, 2003a: 52).

Además, en 2004, el estímulo al desarrollo nanotecnológico en Estados Unidos fue fortalecido con el Acta de Investigación y Desarrollo Nanotecnológico del Siglo XXI que abrió una línea de financiamiento por 3.7 millardos de dólares a lo largo de cuatro años, de los cuales, como suscribe Roco, "...cada dólar de los 3.7 millardos será usado, e incluso más. Esto es así puesto que las Agencias probablemente gastarán más al final de los cuatro años como producto del gran interés existente y la sinergia con otros campos de investigación (Small Times, 2003b).

El propósito del Acta es nítidamente descrito por Calvin Chow cuando expresaba que: "...es un honor especial ser escogido representante de la industria nanotecnológica en estos momentos... esta sola iniciativa ofrece el financiamiento en nanotecnología a niveles históricos y comenzará a generar un rápido y vital empuje de crecimiento, y asegurará el dominio mundial de Estados Unidos en esta floreciente industria" (Small Times, 2003b).

Y es que Estados Unidos ya controla los nichos estratégicos del desarrollo nanotecnológico mundial al asegurarse una ventaja importante en el ensamblaje molecular, la nanobiotecnología, las aplicaciones médicas, de vigilancia y de tipo militar.

### **Nanotecnología para la guerra**

La promoción y financiamiento del aspecto militar de la ciencia y la tecnología ha sido marcadamente importante para Estados Unidos desde la Segunda Guerra Mundial (SGM), un aspecto que se profundizó durante la denominada Guerra Fría y ciertamente con la ola militarista de la administración de G.W. Bush que fue justificada como medida ante los atentados del 11 de septiembre de 2001 y que abrieron el telón de "la guerra contra el terrorismo": una guerra contra todos en general y contra nadie en particular.

Como escriben Rose y Rose,

...para el final de la guerra [SGM] la autonomía de la ciencia se había vuelto un mito [...] el gobierno federal fue gastando una proporción cada vez mayor en ciencia y tecnología; no obstante, en lugar de adoptar la estrategia de establecer laboratorios federales y un servicio científico civil, como en Europa, en Estados Unidos la política estuvo dirigida a la investigación por contrato en las universidades y en la industria. Para mediados de la década de 1960, con mucho margen, la mayor proporción de ciencia universitaria se hacía bajo contrato federal, a menudo para el Departamento de Defensa, y la relación era mucho más sólida... A partir de mediados de la década de 1960 los estudiantes descubrieron, en universidad tras universidad, una red de institutos y contratos de investigación del Departamento de la Defensa... (Rose y Rose, 1976: 35-55).

En este contexto, son esclarecedoras las indagaciones de Melman sobre lo que denominó acertadamente “la administración industrial centralizada y estatal de mayor envergadura del mundo”, una estructura operativa de corte “keynesiano militar” o de “capitalismo del Pentágono”, compuesta por una particular maraña de relaciones clientelares de poder e intereses mutuos entre el alto aparato corporativo, el bélico-industrial, el Congreso y el Ejecutivo, y la enorme burocracia militar (Merman, 1987: 212).<sup>24</sup> Según el autor, a lo largo de las décadas de 1960-1970, el gobierno federal de Estados Unidos, gastó más de la mitad de sus ingresos fiscales en el financiamiento de guerras pasadas, presentes o futuras entre sus más de 37,000 firmas industriales o divisiones de éstas y más de 100,000 subcontratistas que operan bajo el control de una oficina de administración federal con cerca de 50,000 empleados.

Tal simbiosis entre los polos de la red científica-tecnológica estadounidense, al ser la más profunda que se registra en el orbe, resulta ser el mejor caso para indagar el aspecto militar de la alta tecnología o en este caso de la nanotecnología, un panorama en el que permanentemente se profundizan esos vínculos a través de políticas de Estado en nombre de la “seguridad nacional”.<sup>25</sup> Se trata de un sistema que ha sido reforzado por una enérgica legislación sobre transferencia tecnológica, específicamente el Acta Bay-Dole de 1980 y el Acta

<sup>24</sup>Un Estado en el que se logra el Estado de bienestar por medio de la movilización total de recursos humanos y materiales para la eventualidad de una guerra, interna o externa, y contra un enemigo, interno o externo, real o imaginario (Melman, 1987: 212).

<sup>25</sup>Según el DOD, “...los contratistas deben estimular que las actividades en investigación y desarrollo en ciencia y tecnología incrementen la seguridad nacional en un sentido amplio, que lleven a una capacidad militar superior, o que puedan reducir los costos y el tiempo requerido para proveer dicha capacidad” (DOD, 2002: 1).

Federal de Transferencia de Tecnología de 1986. La primera permite la participación privada para conservar los derechos de patente vía una política de *title in contractor*.<sup>26</sup> La segunda reconoce la posibilidad de establecer “Acuerdos de Cooperación para el Desarrollo y la Investigación” (CRADA) entre una o más partes privadas o no federales y uno o más laboratorios propiedad del gobierno (después de su corrección en 1986 expresa en el Acta Federal de Transferencia de Tecnología). Además, se identifican otras iniciativas como el Acta de Innovación de Pequeños Negocios (1982), el Acta Nacional de Cooperación en Investigación (1984), o el Acta de Antologías de Competitividad y Comercio (1988). En todos estos acuerdos, también se incluyen diversos mecanismos de control con el objeto de evitar el espionaje y la piratería tecnológica, tales como: un estatuto de trabajo, los resultados y plazos de entrega, los términos de retención de los derechos de propiedad privada e intelectual, así como su duración no mayor a cuatro años con uno más de extensión.

Considerando que se sabe que la industria civil-comercial depende del financiamiento federal para inversiones de largo plazo y de alto riesgo, nótese que el DOD ha proveído cerca de la mitad del financiamiento federal total, contabilizando para principios del siglo XXI, miles de proyectos abiertos con contratistas mayores por un costo cercano a los tres millardos de dólares anuales (DOD, 2002: 195).

Vale puntualizar que dada la paradójica pérdida de competitividad intercapitalista que provoca la hipertrofia de la economía de guerra estadounidense (que se sustenta en la “maximización de costos” en un medio en el que las ganancias están garantizadas de antemano ya que, en la mayoría de los casos, el producto es vendido antes de ser elaborado y por tanto, en el que dicha “ganancia” no se deriva de relaciones de “mercado” sino de “vinculaciones” de orden político-militar y administrativo), se registra, desde 1980, un profundo desmoronamiento de la matriz industrial de ese país y por tanto de los fundamentos estructurales de su competitividad internacional que ha obligado a un “cambio de perspectiva” para estimular una mayor transferencia de tecnología al sector civil-comercial a partir de enfrentar los costos por ambas partes –la pública y la privada– buscando siempre que las investigaciones de carácter militar exótico o clasificadas (alta tecnología estratégica) continúen en manos exclusivas del DOD y demás secretarías de Estado que discrecionalmente las desarrollan con ayuda de ciertas universidades, institutos de investigación y multinacionales (el grueso de ellas domésticas).<sup>27</sup> De ahí que el DOD indicara en 2002 que,

<sup>26</sup> Mecanismo legal de propiedad intelectual que otorga derechos exclusivos bajo patente a las partes involucradas en el contrato.

<sup>27</sup> Las consecuencias para Estados Unidos se expresaron en un deterioro acumulativo de su competitividad industrial. Durante la década de 1980 sólo un 31 por ciento de las máquinas herramientas usadas en Estados Unidos tenían menos de 10 años, en comparación con Alemania dónde la cifra era del 37 por ciento y en Japón del 61 por ciento (véase Melman, 1987: 6, 47, 169-170, y 184). Para una indaga-

...los costos en los que incurren los contratistas de la Defensa para actividades de investigación y desarrollo son reconocidos... como costos necesarios para hacer negocio, particularmente en el ambiente de la alta tecnología. Los costos efectuados para el desarrollo de actividades de potencial interés debe ser reembolsados como gastos indirectos bajo contratos “encubiertos” hasta el punto en el que sean asignables, razonables y que no contradigan la ley (DOD, 2002: 3).

Lo arriba indicado no es una excepción para el caso de la nanotecnología, por el contrario, un claro ejemplo es la instauración de una unidad de investigación en el MIT denominada Institute for Soldier Nanotechnologies en el que participan la Oficina de Investigación de la Armada de Estados Unidos y actores del sector privado como Raytheon, DuPont y algunos otros del sector salud como los hospitales de mujeres Brigham/Centro para la Integración de la Medicina. Y es que las expectativas militares de la nanotecnología no son menores, de ahí que la NNI, y por tanto el Acta de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología del Siglo XXI, incluya actores gubernamentales como el DOD, el Departamento de Estado, el Departamento de Justicia, el Departamento de Seguridad de la Patria, la Comunidad Estadounidense de Inteligencia, la NASA y desde luego, la Oficina de Patentes y Marcas Registradas, entre otras agencias con intereses en ciencia y tecnología, medio ambiente, agricultura, salud y comercio. Como se lee en el texto de la NNI,

...la nanociencia muestra grandes promesas... los recientes eventos terroristas motivan la acelerada inserción de tecnologías novedosas con el objeto de mejorar la capacidad de garantizar la seguridad nacional ante el uso de agentes químico-biológicos, radiológicos y explosivos. El DOD jugará un papel central en este esfuerzo de múltiples agencias (Roco, 2003, capítulo 25).

No es sorpresa entonces que el DOD haya doblado su nivel de financiamiento en investigación básica de 1975 a 2000 y que, a principios del siglo XX cuente con una vasta variedad de programas en nanotecnología para fines militares con contratistas, subcontratistas y no-contratistas del sector privado, donde estos últimos juegan un papel considerable sólo en las primeras etapas de nuevas tecnologías –dígase nanotecnología– momento en el que las aplicaciones son posibles tanto en el sector militar como en el civil. Una vez pasada tal fase los actores operativos son casi exclusivamente los primeros y se enfocan en el desarrollo de las ya mencionadas aplicaciones exóticas como lo son, en el caso de la nanotecnolo-

---

ción puntual sobre la pérdida relativa de la competitividad estadounidense desde la perspectiva de la economía permanente de guerra, consúltese Saxe-Fernández, s/f.

gía, ciertos sensores o dispositivos electrónicos con resistencia a ambientes radioactivos, entre otros ejemplos.

Asimismo, el DOD mantiene un abanico de programas con universidades que se pueden identificar, principalmente, en dos esquemas de coordinación centralizada: la Iniciativa de Investigación Multidisciplinaria de Universidades (MURI) y el Programa de Instrumentación de la Investigación Universitaria para la Defensa (DURIP).<sup>28</sup>

Entre las prioridades militares que suscribe la NNI, destaca la búsqueda de soluciones para la detección y protección de armas biológicas-químicas-radiológicas-explosivas, así como para el monitoreo del estado de salud de cada soldado con el objeto de aumentar su sobrevivencia mediante nanobiosistemas. También se puntualiza el desarrollo de sensores inteligentes, nanofilamentos o nanopolvos para la confección de ropa, máscaras y equipo militar personalizado con funciones camaleónicas en relación activa con el medio ambiente; que protejan de la insolación a través de materiales de alta nanoporosidad; que neutralicen todo tipo de agentes químico-biológicos y/o que “administren” antídotos.

Otros programas indican que el DOD busca alentar el ensamblaje tridimensional de nanoestructuras para desarrollar mejores versiones de la mayoría de las armas convencionales (armamento más ligero y con mayor capacidad de municiones, miras multiespectro, balas guiadas, o armas que se autodisparan cuando es detectado el enemigo), así como el desarrollo de nuevos materiales para armas no convencionales.<sup>29</sup>

En el mismo tenor, un balance del Comité sobre las Implicaciones Emergentes de las Micro y Nanotecnologías del Consejo Nacional de Investigación de la Junta de las Fuerzas Aéreas en Ciencia y Tecnología suscribe que, “...las

<sup>28</sup> Entre los programas del DURIP están: nanoestructuras catalizadoras (Fuerzas Aéreas-Universidad de Washington, Universidad Estatal de Iowa y Universidad de Pittsburgh), nanocomposites (Fuerzas Aéreas-Universidad de Akron), nanofotónicos y nanoelectrónicos (Fuerzas Aéreas-Universidad de Washington y Universidad de California campus Berkeley), computación cuántica y dispositivos cuánticos (Fuerza Aérea-Universidad de Harvard y Rochester; y Fuerza Aérea y Universidad de Kansas), reconocimiento molecular y traducción biomolecular de señales (Darpa-Fuerza Aérea-Universidad de Illinois campus Urbana-Champaign, Colegio Harold Washington), síntesis y modificación de superficies de nanoestructuras (Darpa-Fuerza Aérea-Universidad de California campus Berkley y Los Ángeles, Universidad de Princeton y Universidad Estatal de Luisiana). Entre los programas de la MURI, se pueden indicar el de cubiertas multifuncionales diseñadas por nanoingeniería (Fuerza Aérea-Universidad de Virginia, Universidad Estatal de Ohio, Universidad de Cincinnati, Universidad Estatal de Arizona y la Universidad de Nuevo Mexico; o de la Fuerza Aérea-Universidad de Minnesota, Universidad Estatal de Dakota del Norte, Universidad de Missouri en la ciudad de Kansas y la Universidad de Dayton) (véase Committee on Implications of Emerging Micro and Nanotechnologies, CIEMNT, 2000: 186-189).

<sup>29</sup> Según Siniscalchi, “...las tecnologías no letales cubren un amplio rango de posibilidades, incluyendo armas biológicas y químicas, control de masas, así como armas exóticas de última generación... El DOD define como armas no-letales aquellas que están diseñadas explícitamente para incapacitar al personal o infraestructuras enemigas...”. Entre las que se desarrollan están las armas químicas y biológicas no letales, las armas ópticas y acústicas, las de macro y microondas, polímeros y espumas inmovilizantes, armas de antimateria y de pulsos electromagnéticos, etcétera (Siniscalchi, 2001: 129-150).

micro y nanotecnologías serán relevantes en las seis competencias centrales del plan estratégico de la Fuerza Aérea: superioridad aeroespacial, superioridad informática, capacidades de ataque global, compromiso de precisión, movilidad global rápida y apoyo de combate ágil” (CIEMNT, 2002: 13).

Por tanto, entre las “áreas de oportunidad”, indica el comité, están: el desarrollo de vehículos o dispositivos espaciales y sus sistemas (incluyendo el desarrollo de un sistema complejo de nanosatélites<sup>30</sup> para vigilancia y monitoreo global permanente a modo de una antena espacial gigante); la evolución de los sistemas balísticos (misiles miniaturizados baratos, de poco peso, mayor precisión y rápido alcance global de diversas especificaciones; *e.g.* aire-aire, aire-tierra, interceptores); y la innovación de vehículos aéreos y otros dispositivos (micro aviones autómatas de bajo costo –como el Black Widow de la empresa estadounidense AeroVironment– para misiones de monitoreo, vigilancia, reconocimiento o para fungir como señuelos; así como el perfeccionamiento aerodinámico y de camuflaje de aviones) (CIEMNT, 2002: 14, 15, 213).

Consecuentemente, la Fuerza Aérea de Estados Unidos está invirtiendo en nanobiotecnología 7 por ciento de su presupuesto destinado al rubro de las nanotecnologías, en nanoenergéticos 11 por ciento, en nanomateriales 37 por ciento y en nanodispositivos 45 por ciento (CIEMNT, 2002: 186). Es una tendencia de corto plazo que en general es compartida por las diversas fuerzas militares de ese país pues, según Cliff Lau de la Oficina de Investigación Básica de la Secretaría de la Defensa, “...el gasto del DOD en nanotecnología se enfoca en tres áreas de importancia crítica: diseño de nanomateriales, nanoelectrónicos/magnéticos/optoelectrónicos y nanobiosistemas.” (NNI, 2003). Aunque, considérese que su variación porcentual para cada tipo de fuerza armada depende de sus necesidades particulares.

Ahora bien, de hecho todas las facetas de investigación militar antes indicadas constituyen la “cola” de la investigación “nanomilitar” vistas en el largo plazo pues la apuesta mayor radica en la convergencia NBIC para el desarrollo de “supersoldados” con un arsenal altamente sofisticado (desarrollado ya desde el corto y mediano plazos) que, para entonces, ya incluiría –según los planes– bionanorrobots o nanocyborgs autómatas, replicables o no replicables. Éstos figurarían como el más sofisticado avance en dispositivos autómatas (vehículos, naves y satélites) que podrían funcionar en solitario o coordinadamente; un contexto donde uno de los problemas más controversiales, tal y como ya da cuenta la Fuerza Aérea de Estados Unidos, es la especificación del grado de autonomía con todas sus implica-

<sup>30</sup>Entiéndase el uso de nanodispositivos y/o nanosistemas para la conformación de satélites muy pequeños (nanosatélites o picosatélites) pero no nanométricos. En este sentido el uso de la nano resulta cuando menos confuso. El primer nanosatélite es el británico SNAP-1 de 6.5 kg lanzado en junio de 2000. Un ejemplo de picosatélites (aún más pequeños) es el desarrollado por la Aerospace Corporation-Darpa y Rockwell Scientific de 260 gr (CIEMNT, 2002: 208-209).

ciones políticas y sociales (CIEMNT, 2002: 203). Incluso, ya se viene sugiriendo el uso de nanocyborgs como fuerzas para mantener el orden legal, es decir, como un sistema coordinado de vigilancia que entre sus funciones estaría la de “fuerza antiterrorista” a modo de una policía de nanocyborgs que vele por “la seguridad nacional” (Petersen y Egan, 2002: 3) (véase Mehta, capítulo 5 de este libro).

Es más, los nanorrobots podrían llegar a ser diseñados para que funcionaran como “nanoarmas” inteligentes, para atacar ciertos metales, lubricantes, plásticos u otros materiales. El objetivo: la destrucción de armas convencionales u otras infraestructuras estratégicas del enemigo. También para que, por ejemplo una vez ingeridos aeróbicamente por el humano, busquen ciertos códigos genéticos preprogramados y se autodestruyan en una “apropiada” ubicación (como el cerebro) (Petersen y Egan, 2002: 3). Es decir, los nanocyborgs funcionarían, en este caso, como el arma químico-biológica más potente, imperceptible y eficaz en el micro y macro blanqueo del enemigo en panoramas de guerra convencional o guerra encubierta. Lo previamente señalado indica la potencialidad de nuevas y radicales dimensiones de escenarios de violación de derechos humanos, violencia, subyugación y dominio, dentro y fuera del campo de batalla que, por si fuera poco, de salirse de control o, del rango de operatividad previsto, la incertidumbre sobre los peligros a la salud humana y el medio ambiente respectivamente, es de llamar la atención.

Nótese que todo ese prometedor avance de la convergencia NBIC en el ámbito militar viene redefiniendo la concepción de los estrategas castrenses sobre la “seguridad nacional” y los plausibles escenarios de guerra. Los *think tanks* del Pentágono están preocupados por las implicaciones que tendría el avance de las mencionadas *tecnologías convergentes* por parte del enemigo, por lo que sus sugerencias son esenciales para la hegemonía estadounidense en el sentido de tomar contramedidas y situarse tecnológicamente un paso adelante. Entre lo que ya se menciona, por ejemplo, es que la determinación del grado de confianza para ejecutar o resistir una agresión militar se volverá ineficaz dadas las características y rapidéz que alcanzaría la fabricación del armamento; que el tiempo para la toma de decisiones de emergencia y de inteligencia se reducirá; que el instrumental para la infiltración encubierta de inteligencia y de sabotaje hará difusa la distinción entre confrontación y guerra; que en el espacio, los satélites civiles y militares (propiamente de espionaje), podrían ser atacados fácilmente por otros mini(nano) satélites (posiblemente replicadores) que tuvieran como misión dejar “ciego” al enemigo; o que el armamento nuclear podría volverse altamente vulnerable a novedosas técnicas de ataque o neutralización (Petersen y Egan, 2002).

Es decir, la consideración general de la estrategia militar global apunta hacia el fortalecimiento de la capacidad de ejercer un potente primer ataque, ya que con tecnologías NBIC, la capacidad de una respuesta aniquiladora po-

dría ser neutralizada. Más aún, esa tendencia sería fortalecida con la introducción de nanorrobots replicadores para la fabricación de armamento ya que, el hecho de saber que el enemigo cuenta con replicadores más rápidos y eficientes, estimularía fuertemente a llevar a cabo un primer ataque (*an early first strike*).

Por tanto, en un panorama en el que las *tecnologías convergentes* no permitirían mantener una estabilidad entre rivales armados, y en el que los estados-nación, sus institutos de investigación-universidades, y sus multinacionales están cada vez más involucrados en su desarrollo, la discusión colectiva de las implicaciones de su desarrollo, tanto en la esfera civil-productiva, como en la militar-improductiva, es urgente. En el intermedio, un acuerdo mundial que limite su desarrollo en las áreas de alta incertidumbre y de fuertes implicaciones éticas-sociales-ambientales sería más que prudente como primer paso ante la plausible posibilidad de impactos negativos que podrían incrementarse proporcionalmente conforme lo haga la convergencia de tecnologías NBIC y, aún más, con la apertura de opciones para su uso deliberado bajo la racionalidad-irracional militar. Un Tratado Internacional sobre Armamento NBIC que actualice el espectro de agentes que ya no contemplan los Tratados Internacionales de Armas Químico-Biológicas o el Tratado Antibalístico resulta fundamental antes que el verdadero potencial de las tecnologías convergentes se libere. Aunque bien es cierto que, desde la perspectiva de la vida, todo tipo de ciencia y tecnología para la guerra no debería desarrollarse.

### **La “plaga gris” (gray-goo) y la deslegitimación del debate público**

En momento en que los planes de los impulsores de la nanotecnología se centran en la convergencia de las tecnologías NBIC para el supuesto y controversial propósito del “mejoramiento del ser humano”, todo en medio de una fuerte incertidumbre nanotecnológica, se viene promoviendo una intensa campaña en contra del científico estadounidense Eric Drexler del Foresight Institute (Estados Unidos) y su hipótesis de “la plaga gris” (posibilidad de que se salgan de control nanorrobots autorreplicables-Drexler, 1986). La razón: se trata de una idea irracional... ¡es ciencia ficción!, se señala.

La controversia es verdaderamente intensa pues el grado de incertidumbre de cómo operarían los nanorrobots y de cómo serían diseñados es muy elevado. Tal vez una de las discusiones que mejor la ejemplifican es el debate encabezado por el propio Drexler y, el también nanotecnólogo, Richard Smalley, dos actores radical y abiertamente impulsores de la nanotecnología y que han sido partícipes en la asesoría al Senado y a la Casa de Representantes de Esta-



dos Unidos.<sup>31</sup> Considerando que ambos tienen formación científica en la materia y a pesar de que Drexler sea etiquetado de tener una posición inspirada en la “ciencia ficción”, se podría señalar que la discusión con Smalley sugiere dar una buena idea de por dónde están algunas de las principales incertidumbres y deseos de los nanotecnólogos al momento de imaginar el diseño de los susodichos nanorrobots o nanoensambladores.

Para Drexler, el desarrollo de nanoensambladores (aquellos aparatos capaces de guiar reacciones químicas mediante el posicionamiento de moléculas reactivas con una precisión atómica) es una cuestión de tiempo y su posibilidad técnica ya puede ser demostrada desde la mecánica cuántica (Baum, 2003). No obstante, para Richard Smalley (Premio Nobel de la Rice University, Estados Unidos) los nanoensambladores como los describe Drexler son técnicamente imposibles ya que, parafraseando a Feynman, “...hay suficiente espacio en el fondo, pero no tanto [...] Para colocar cada átomo en su lugar –la visión articulada por algunos nanotecnólogos– se requerirían dedos mágicos” (Foresight Institute, s/f). En su caso, según Smalley, los nanoensambladores podrían ser posibles pero desde la química cuántica; y agrega:

...el problema central que observo en la concepción de un nanorrobot autoensamblador es fundamentalmente químico. Si el nanorrobot queda restringido a formas de vida basadas en agua, dado que esta es la única manera en la que sus herramientas moleculares ensambladoras podrían funcionar, entonces hay una gran lista de vulnerabilidades y limitaciones de lo que podemos hacer. Si se trata de formas de vida no basadas en agua, entonces hay una vasta área de la química que ha sido evadida por siglos (Baum, 2003).

Drexler a contracorriente responde que su perspectiva está basada en la de Feynman, que es fundamentalmente mecánica, no biológica. Para visualizar cómo funcionan las nanofábricas (nanoensambladoras), escribe Drexler, es útil considerar el sistema fabril convencional,

...estas nanofábricas no contienen enzimas, ni células vivas, ni ningún enjambre de nanorrobots replicantes divagando. En lugar de ello, éstas usan computadoras para control digital preciso, transporte para el movimiento de pequeños componentes y estructuras de posicionamiento de diversas dimensiones para ensamblar esas pequeñas partes a modo de consolidar otras más largas y construir productos macroscópicos. Las estructuras más

<sup>31</sup> a) Subcommittee on Science, Technology and Space, 26 de junio de 1992. b) Subcommittee on Basic Research, 22 de junio de 1999.

pequeñas posicionan partes moleculares para ensamblar estructuras mediante mecanosíntesis –fase química de la máquina (Baum, 2003).<sup>32</sup>

Esta función química que Drexler puntualiza como “mecanosíntesis” no tiene que ver con la que describe Smalley por lo que el primero suscribe que las aserciones de Smalley revelan un entendimiento de la química enzimática de hace 19 años (Baum, 2003).

Smalley, por su parte, responde que,

...uno no puede hacer que ocurra una química precisa entre dos objetos moleculares con un simple movimiento mecánico a lo largo de unos cuantos grados de libertad entre el ensamblador y el marco de referencia corregido. La química es más sutil que eso. Uno necesita guiar los reactivos hacia una coordenada particular y esa coordenada se mueve a través de muchas dimensiones del hiperespacio [...] Para controlar esos átomos se necesita un tipo de chaperón molecular que pueda también servir como catalizador. Uno necesita un grupo lo suficientemente largo de otros átomos ordenados tridimensionalmente en un modo complejo y articulado para activar el sustrato y, llevando el reactivo, masajear ambos hasta que reaccionen exactamente de la forma deseada. Uno necesita algo muy parecido a una enzima [...] Tú aún estás pretendiendo un mundo donde los átomos van a donde tú quieres porque tu programa computacional los dirige hacia ahí (Baum, 2003).

Ahora bien, lejos de tratar de definir quién está en lo “correcto”, lo que se puede desprender de esas diferencias entre los autores y que aún son mucho más detalladas, es el alto grado de incertidumbre de los acercamientos teórico-metodológicos sobre ciertos asuntos como los son los nanoensambladores y por tanto del alto nivel de incertidumbre de la nanotecnología. Nótese que las acaloradas discrepancias no radican tanto en la posibilidad o imposibilidad de los nanoensambadores *per se* sino de cómo serían, cómo se construirían y cómo funcionarían puesto que para ambos personajes los nanoensambladores son factibles (aunque vale precisar que para Smalley las limitantes son enormes, no así para Drexler que llega a caer en muchos casos en la fantasía). Y precisamente en este último punto se vincula la cuestión de los potenciales riesgos y peligros de los nanoensambladores ya no sólo operando fuera del laboratorio en condiciones de daño estructural (por causa de alguna reacción inesperada) sino además, funcionando de modo automático y fuera de control o, como Drexler lo califica: a modo de una plaga gris.

<sup>32</sup>Para una revisión técnica extensiva de la propuesta véase Drexler, 1992.

En este panorama, a sabiendas del temor que ocasiona a la sociedad tal posibilidad (por más que se señale lo remota e irreal que pudiera ser), Smalley ataca a Drexler indicando que las limitaciones de los nanoensambladores son mayores y que la posibilidad de aquellos con las cualidades que Drexler describe es imposible; además de que, como han señalado varios especialistas, en su caso se podrían desarrollar mecanismos de control (térmicos, acústicos, etcétera). Y remata acusándolo,

...tú y la gente que te rodea están asustando a nuestros niños. No espero que dejes de hacerlo pero ojalá otros en la comunidad de químicos se unan conmigo para encender la luz y, mostrar a nuestros hijos que, si bien es cierto que en el futuro real habrá riesgos desafiantes, no habrá tales monstruos como los nanorrobots mecánicos autorreplicantes de tus sueños (Baum, 2003).

En dicho contexto, al ser la versión de Smalley la oficialmente aceptada, la campaña para desacreditar a Drexler ha ido en aumento, sobre todo, ante el temor a que se genere una campaña social antinanotecnología “del tipo que han generado los organismos genéticamente modificados”. Ante ello se ha indicado que el público es ignorante o que tiene una interpretación errónea de lo que podrían ser los nanoensambladores. Pero, lejos de tomar partido, vale la pena preguntarse, ¿cuál es ese público ignorante?, ¿dónde están los estudios que comprueban que en efecto el público es ignorante y que por tanto tiene una interpretación errónea de los nanorrobots? Y es que el punto resulta llamativo porque, si consideramos que el público general (exclúyase a ONG y activistas “tradicionales”) no parece tener claro qué es la nanotecnología, todo sugiere la posibilidad de una “fabricación” parcial del debate sobre la plaga gris.

La explicación a esa plausible fabricación tal vez se encuentre en el hecho de que la sabiduría convencional sugiere que el público debería de centrarse en discutir los aspectos de corto plazo del desarrollo nanotecnológico (*e.g.* la posibilidad de toxicidad de las nanopartículas) y olvidarse de esas “irracionales” e “irreales” posibilidades de largo plazo. Por ejemplo, una versión de esa argumentación es ofrecida por Roco cuando puntualiza que, “...el miedo a la plaga gris es útil para distraer al público de la discusión ética y social de los aspectos de la nanotecnología de hoy en día” (Roco, 2005).

No obstante, considero que si bien es cierto que ese señalamiento resulta parcialmente cierto, el argumento puede ser visto a la inversa, indicando que, enfocarse sólo en el corto plazo es un modo de deslegitimar la discusión pública de los aspectos de la nanotecnología en el largo plazo (y por tanto una manera de deslegitimar el derecho público de rechazar aquellas facetas no deseadas), al menos hasta el punto en que tales potencialidades de largo plazo sean

una realidad “imparable”. Además, tómesese nota que la discusión de los aspectos de la nanotecnología en el largo plazo forzosamente lleva a discutir aquéllos del corto y mediano plazo, mientras que la discusión de aquéllos del corto plazo no necesariamente obliga a indagar en los de mediano y largo plazo.

Aquí no estoy hablando de una teoría de conspiración, sino de un escenario de intereses contradictorios que permiten la combinación de los “ingredientes” necesarios para constituir un medio ambiente propicio para evitar una discusión pública profunda y seria que eventualmente podría poner un freno al avance nanotecnológico. Esto último parece ser el punto de acuerdo que ha estimulado el debate de la plaga gris y su deslegitimación pues la mayoría de los actores involucrados en tal discusión –esencialmente aquellos directamente relacionados con el desarrollo nanotecnológico– son conscientes de que la opinión del público es peligrosa en tanto que podría comprometer fuertes intereses económicos y políticos que ya están en juego. La inercia del debate toma su forma antropomórfica con una serie de actores atomizados con intereses personales o de grupo y que, una vez puesto en marcha el señalamiento por Drexler en 1986, se han esforzado en tomar una posición sobre el asunto en relación directa al creciente avance de la nanotecnología y de sus propios intereses. Por tanto, el debate sobre la plaga gris más allá de disminuir, se incrementará exponencialmente conforme la innovación nanotecnológica lo haga.

Por ende, todo indica que la errónea interpretación o ignorancia del público es más bien una “fabricada” justificación de lo que de fondo está sucediendo: un proceso de confrontación de intereses al nivel de las ideas sobre la posibilidad o imposibilidad de la plaga gris entre aquellos actores involucrados en el avance de la nanotecnología y que, a su vez, ha arrastrado a “expertos” de la academia, empresarios y políticos, así como a activistas sociales, pero no al público en general (obreros, amas de casa, campesinos, etcétera).

Entre tanto, hay que tener presente que incluso cuando los nanoensambladores son una predicción (evitando hacer referencia a la plaga gris), su posibilidad de convertirse en realidad es plausible y sólo por esa remota opción el debate público actual debería, a modo de ser precavido, incluir de manera legítima, seria e informada esta temática. Para ello, resultarían útiles los estudios multidisciplinarios sobre los aspectos éticos, sociales y ambientales de la nanotecnología de diversas perspectivas teóricas y metodológicas pues como atinadamente indica Mickey Gjerris (2005) del Centro Danés de Bioética y Evaluación de Riesgo, “...la perspectiva lo es todo... determina los riesgos que tomamos seriamente y cómo interpretamos la incertidumbre: si la nanotecnología es la respuesta ¿cuál es la pregunta?”

Y es que la falta de diálogo es costosa y lo será aún más en el futuro pues se tendrá que enfrentar no sólo el “contexto de justificación” nanotecnológico, sino

su contexto de aplicación y su “contexto de implicación”.<sup>33</sup> Por tanto, a pesar de que no es posible predecir los efectos e impactos de la tecnología en el futuro (y por tanto de posibilidades tecnológicas como los nanorrobots), sí es posible modelar responsablemente el proceso de su desarrollo en el presente (véase Sarewitz y Woodhouse, capítulo 7, y Strand, capítulo 2 de este libro).

### Política y desarrollo nanotecnológico

Sin duda alguna, la complejidad e incertidumbre que van de la mano del desarrollo tecnológico, y de modo radical en aquél de esencia capitalista, han hecho cambiar la relación entre la ciencia y la política. No solamente porque se complica la toma de decisiones, sino porque pone en cuestión una serie de hechos y valores medidos desde nuestra limitada proximidad temporal como individuos que construimos tan sólo un momento de la historia. Además, esa crecientemente incertidumbre pone en discusión la lógica misma del desarrollo tecnológico capitalista como uno de los caminos posibles de la ciencia y la tecnología humana.

Dentro del peculiar avance científico-tecnológico del sistema capitalista de producción, la política del sistema (como podemos corroborar con diversos sucesos cada año) ha quedado rebasada por el alto grado de incertidumbre que arrastra la tecnología de las últimas décadas. Nuevos lineamientos en la política que permitan mantener al sistema son urgentes. Los aportes de Funtowicz y Ravetz (2000) se adecuan generosamente a tal requisito, ya que su intención es la de “cambiar el sistema con pequeños cambios”; algo así como querer “cambiar” el sistema desde adentro, pero manteniéndolo. Aunque muy debatible tal posición (véase más adelante), las indicaciones que ofrecen los autores son importantes porque abren la discusión sobre varios ejes nodales sobre el desarrollo científico-tecnológico.

Según los autores, de frente a los límites de la ciencia normal es necesaria una *ciencia posnormal* que permita, no desaparecer la incertidumbre, sino *hacerla manejable*, y en la que los valores no se presuponen si no que se explicitan (Funtowicz y Ravetz, 2000). Es decir,

...la ciencia posnormal aparece cuando las incertidumbres son, ya sea de tipo epistemológico o ético, o cuando lo que se pone en juego en las decisiones refleja propósitos en conflicto entre aquellos que arriesgan algo. La denominamos “posnormal” para indicar que los ejercicios de resolución de problema de la ciencia normal (en el sentido kuhniano) que fueron tan exitosamente extendidos desde el laboratorio hasta la conquista de la naturaleza, ya no son apropiados para la solución de nuestros problemas ambientales globales (Funtowicz y Ravetz, 2000: 48).

<sup>33</sup>Véase las publicaciones de Nowotny, Gibbons y Scott, 1994 y 2001. También la de Funtowicz, 1990.

Así, agregan los autores, "...en este nuevo tipo de ciencia, la evaluación de los *inputs* científicos para la toma de decisiones requiere una «comunidad de pares extendida». Esta extensión de la legitimación hacia nuevos participantes en los diálogos políticos tiene importantes implicaciones tanto para la sociedad como para la ciencia" (Funtowicz y Ravetz, 2000: 25).

Hasta este punto, aunque se puede coincidir con tal postura, no queda claro en los autores, quiénes componen específicamente esa comunidad de pares y cómo participarían. Es bien sabido, sobre todo en los países del sur, que esos escenarios de "democratización" han sido utilizados para simular una participación ciudadana en la toma de decisiones políticas que en realidad no se quiere que opere. Por ejemplo, Vía Campesina y la Unión Nacional de Trabajadores Agrícolas, en el marco de los Proyectos del Banco Mundial sobre políticas de tierra en AL indicó que esos,

...son simulacros estructurados desde seminarios regionales que también incluyen Europa, Asia y África, y que culminan en la redacción del documento... [final] ...caracterizado por la falta de transparencia y por su carácter excluyente... La presencia y el papel de las pocas organizaciones que provienen de la sociedad civil es muy limitada, de manera que las agrupaciones presentes corren el peligro de servir como hoja de parra para justificar las políticas del Banco (Vía Campesina..., 2002).

La discusión ofrecida por Funtowicz y Ravetz parece darse entonces en un contexto de vacío de poder, de ausencia de lucha de clase, donde en efecto todo es un problema meramente formal (*de forma*), es decir de ética o principios epistemológicos, y no de la lógica intrínseca del *desarrollo científico-tecnológico capitalista*. Ello se sostiene a pesar de que los autores suscriban que, "...aunque la definición de los problemas nunca es completamente libre de la política, un debate abierto garantiza que tales consideraciones no sean sesgadas ni encubiertas" (Funtowicz y Ravetz, 2000: 52). Aunque en sí mismo el argumento es cierto, vale nuevamente señalar que el problema de fondo no es meramente formal, y en su caso, ¿cuáles serían los mecanismos para "asegurar" que sea efectivamente un debate abierto en un contexto en el que el sistema opera justamente a la inversa?

Esa buena intención de hacer "ciencia con la gente" (como sugiere el título de su libro y que es muy diferente a "hacer ciencia para la gente") de entrada se vería imposibilitada por el problema del lenguaje pues lo que se "comunica" dentro de la élite nanotecnológica, es totalmente distinto a lo que sale a la cúpula política, y más aún al resto de la sociedad.

Así, para acercar a la sociedad con lo que está pasando dentro de la élite nanotecnológica (y en general científico-tecnológica), sería necesario un doble

mecanismo, como parecen sugerir Funtowicz y Ravetz. Por un lado, la apertura de ese hermético grupo; y por otro lado, la formación de grupos de académicos que puedan interpretar en términos más coloquiales lo que está sucediendo ahí. He aquí la importancia de los señalamientos de Strand (capítulo 2 de este libro) sobre la trascendencia de establecer y fomentar grupos permanentes e independientes de estudio de Aspectos Éticos, Legales y Sociales (estudios ELSA, por sus siglas en inglés) en nanotecnología, no sólo en la Unión Europea, sino a nivel mundial. Aunque es algo central, no debe perderse de vista que lo anterior sólo es una solución provisional ya que se trata de un mecanismo de forma y no de esencia del desarrollo tecnológico capitalista.

Tomando nota de lo anterior y dando cuenta de la innegable utilidad de los estudios ELSA (pues figuran como la piedra angular para una posible aunque no obligada transformación de la lógica del desarrollo tecnológico actual), es preciso indicar que éstos no sólo deberían de abordar el desarrollo tecnológico civil, sino también aquel de tipo militar ya que este último no es, ni puede ser cosa menor en la cúpula política del sistema. La puntualización es también aplicable a la propuesta de la *ciencia posnormal*. En su texto, Funtowicz y Ravetz, hablan de cómo hacer política en un creciente estado de incertidumbre científica-tecnológica, pero nunca se distingue su versión civil y militar. Al tratarlas como iguales, se deja de lado la discusión particular que requiere y obliga la “racionalidad” castrense. El papel de la *ciencia posnormal* de la manera descrita por los autores, no queda claro de frente a un pequeño detalle: la “seguridad nacional”.

Ese dispositivo rancio del Estado, ha permitido el libre y justificado desarrollo de tecnología para la guerra, o no productiva (en el sentido de la reproducción de la humanidad, aunque para el sistema sí lo sea). Desde la ciencia posnormal, la participación de la gente en ese rubro quedaría totalmente anulada, claro está, a menos que se trate de una simulación o que el Estado capitalista deje de ser tal, pues como señaló un alto funcionario del ejército de Estados Unidos durante la presidencia de Clinton: “...national security is bussines, bussines is national security (la seguridad nacional es negocio, el negocio es la seguridad nacional)” (Saxe-Fernández, 2002).

Y es que el entramado de la mencionada “economía de guerra” opera en un ámbito de secretismo absoluto y rompiendo toda lógica económica y política; todo “por cuestiones de *seguridad nacional*”. Nunca se saben las tecnologías que se están desarrollando. Cuando se dan a conocer, o bien ya están desarrolladas y tácticamente el enemigo debe saber que uno las posee, o se filtran a los medios de comunicación rasgos generales de la posible existencia de tales o cuales tecnologías o programas de investigación. El Estado-nación y la élite capitalista que lo conforma, no puede operar de otra manera si quiere conservar

y reforzar su hegemonía (ya sea mundial o regional). El caso de Estados Unidos es nítido.

Si la ciencia posnormal propone hacer “ciencia con la gente”, debe de aclarar si eso incluye lo militar (claro está que no hay una frontera muy clara entre la tecnología civil y militar dadas las transferencias tecnológicas entre ambas esferas); y de ser así, deberá puntualizar los mecanismos que propone para concretizar el papel activo que sugiera dar a “la gente” en el quehacer político respectivo.

Otro aspecto importante a denotar es que si bien es cierto que a partir de pequeños cambios se puede llegar a grandes cambios, ello no es un proceso automático. En el caso del desarrollo científico-tecnológico, si no se tiene clara la lógica y esencia del mismo en el momento histórico actual, se puede caer en un proceso de “mejoramiento” del sistema político subordinado al sistema, limitado y dependiente a las correlaciones de fuerzas existentes en la cúpula de poder. Es decir, se puede “avanzar” hacia un simulacro que beneficiará al sistema, más allá de la gente.

Joan Martínez Alier cuando indica atinadamente que “la ciencia no puede ser servidora del poder”, comenta el texto de Funtowicz y Ravetz al escribir que, “...urgencia, incertidumbre, conflictos de valores, son características de la «ciencia posnormal», que no es ciencia elitista, por encima de la gente; *no es tampoco bienintencionada ciencia para el pueblo*” (Funtowicz y Ravetz, 2000: 12 y 13; cursivas del autor).

### Una breve reflexión final

Discutir a fondo la ciencia y la tecnología obligadamente lleva a cuestionar la lógica con la que se desarrolla, es decir, la finalidad para la que es creada. La nanotecnología como hija del desarrollo tecnológico capitalista contiene la esencia misma del sistema. La discusión verdaderamente pública sobre el carácter formal de su desarrollo, su grado de incertidumbre y mecanismos de precaución, entre otros puntos, es fundamental para delimitar, provisionalmente, su avance con base en lo que la gente desea. Si bien la ciencia posnormal en ese sentido es positiva al intentar, hasta cierto punto, abrir el proceso de desarrollo científico-tecnológico a la gente, hay que aclarar que en ningún momento se propone como primer paso para la redefinición de la lógica de la ciencia y la tecnología *per se*. Si bien potencialmente lo posibilita, la *ciencia posnormal*, tal y como es presentada por Funtowicz y Ravetz, parece quedar atrapada en el sistema capitalista de producción.<sup>34</sup>

<sup>34</sup>Funtowicz (2003) indica que “ciertos cambios en el sistema implican un cambio del sistema”, lo que no significa que ciertos cambios en el sistema impliquen un cambio de sistema.



El debate sobre si hay que desarrollar la nanotecnología y demás tecnologías propiamente capitalistas, y cómo, ya no puede seguir rondando por mucho tiempo en el ámbito meramente formal debido a las dimensiones de complejidad e incertidumbre que están alcanzando.

Debido a que el desarrollo científico-tecnológico capitalista no ha servido para potenciar la conciencia social total, entendida como la humanidad que se piensa desde la perspectiva de la vida de todos y cada uno de sus individuos (Durkheim) (Bierstedt, 1966: 64-84) considero que hay que detenerse seriamente a reflexionar para proceder con un intento colectivo de redefinición. Ello no significa que se deba oponerse a todo desarrollo tecnológico, ni tampoco que se pretenda buscar una única solución, al contrario.

En el caso de la nanotecnología, de entrada se debería discutir a fondo, distinguiendo entre problemáticas “técnicas”, “científicas” y “prácticas” (incluyendo sus dimensiones político-económicas, ecológicas y sociales) (Ravetz, 1971) todo en un contexto de moratoria a la comercialización de la nanotecnología (no investigación *per se*), hasta llegar a un(os) acuerdo(s) internacional(es) en el(los) que, cuando menos, opere una genuina ciencia *con* la gente. Pero más aún, en el que ésta sea también *para* la gente. No se trata de ser más, o menos radical, sino solamente de medir el desarrollo tecnológico desde la perspectiva de la vida, no únicamente humana y no sólo en beneficio de algunas(os).

## Bibliografía

- AAAS (Asociación Americana para el Desarrollo de la Ciencia) (2004), *Research and Development FY 2004*, reporte XXVIII, Washington, D.C.
- BAUM, Rudy (2003), “Nanotechnology, Drexler and Smalley make the case for and against «molecular assemblers»”. *Chemical and Engineering News*, 81(48). <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8148/8148counterpoint.html> Consultado julio de 2005.
- BIERSTEDT, Robert (1966), *Emile Durkheim*, Nueva York, Dell Publishing.
- BROWN, Douglas (2003), “Nanotech’s path to the White House is paved with experts and acronyms”, *Small Times*, 3 (3).
- CAPRA, Fritjof (2005), *El tao de la física*. Málaga, Sirio.
- CIEMNT (Committee on Implications of Emerging Micro and Nano Technologies) (2002), *Implications of Emerging Micro and Nanotechnology*, Washington D.C., National Research Council-National Academies Press.
- CLYNES, Manfred y Nathan Kline (1960), “Cyborgs and Space”, *Astronautics*, septiembre.
- COMISIÓN EUROPEA (2005), *Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías*, Bruselas, 12 de mayo.

- CHOI, Charles Q. (2005), "Nano World: Nano Patents in Conflict", *UPI*, Nueva York, abril.
- DELGADO, Gian Carlo (2002), *La amenaza biológica: mitos y falsas promesas de la biotecnología*, México D.F., Plaza y Janés.
- (2004), *Biodiversidad, desarrollo sustentable y militarización*, México, CEIICH/Plaza y Valdés.
- (2006), "Hacia una hegemonía tecnológica de China", *International Journal of Human Sciences*, Turquía, 3(1).
- DOD (Departamento de la Defensa) (2002), Independence Research and Development, Estados Unidos, Program Report.
- DREXLER, Eric (1992), *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation*, Nueva York, Wiley Inter-Science.
- (1986), *Engines of Creation*, Nueva York, Anchor Books.
- EINSTEIN, Albert (2004), *La mentalidad militar*, Barcelona, Alpha Decay.
- FEYNMAN, Richard (1998), *Six Easy Pieces: the Fundamentals of Physics Explained*, Londres, Penguin.
- FORESIGHT INSTITUTE (s/f), *Is the revolution real?*, Palo Alto, California, Foresight Institute.
- FUNTOWICS, Silvio y Jerome Ravetz (2000), *La ciencia posnormal: ciencia con la gente*, Barcelona, Icaria.
- FUNTOWICS, Silvio (1990), *Uncertainty and Quality in Science for Policy*, Londres, Kluwer Academia Publishers.
- (2003), Seminario sobre Ciencia Posnormal impartido del 5 al 9 de mayo en la Universidad de Girona, España.
- GJERRIS, Mickey (2005), Debate en el NanoEthics 3 de marzo, Universidad de Carolina del Sur [Registro personal GDR].
- HEINES, Henry (2003), "Patents trends in nanotechnology", *Biotechnology & Chemistry Practice Group*, Estados Unidos, septiembre. <http://library.findlaw.com/2003/Nov/4/133136.html> Consultado 29/07/2005
- HOOF, Gerard `T (2001), *Partículas elementales*, Barcelona, Crítica.
- HUANG, Zan, Hsinchun Chen, Zhi-Kai Chen y Mihail Roco (2004), "International nanotechnology development in 2003: country, institution and technology field analysis based on USPTO patent database", *Journal of Nanoparticle Research*, 6.
- IGARASHI, Kasuo (2003), "AIST`s Nanotechnology", en AIST, *Nanotechnology: toward New Industry Creation and Life-Style Innovation*, Ibaraki.
- JACKSON, Shirley (2001), "A Fantastic Voyage", Second Annual Conference on Regenerative Medicine, Cloning and Stem Cell Biology, Washington, D.C., 4 de diciembre.
- LIBICKI, Martin (1989), *What Makes Industries Strategic*, Washington, D. C., The Institute for National Strategic Studies, National Defence University.

- MARX, Kart (1980), *El Capital*, tomo I. vol. 2, libro primero, México, D.F., Siglo XXI.
- MAZZOLA, Laura (2003), "Commercializing Nanotechnology", *Nature Biotechnology*, 21 (10).
- MELMAN, Seymour (1987), *Profits Without Production*, Filadelfia, University of Pennsylvania Press.
- NNI (National Nanotechnology Initiative) (2003), *National Nanotechnology Initiative: from vision to commercialization*. Washington, D.C., www.infocastinc.com Consultado el 20 de julio de 2005.
- NOWOTHY, H., M. Gibbons y P. Scott (1994), *The New Production of Knowledge*, Londres: Sage Publications.
- (2001), *Re-Thinking Science*, Oxford, Reino Unido, Polity Press.
- PAULL, Wolfe, Hébert y Sinkula (2003), "Investing in Nanotechnology", *Nature Biotechnology*, 21 (10), 1146.
- PETERSEN, John y Egan, Dennis (2002), "Small Security: nanotechnology and future Defence", *Defense Horizons*, marzo.
- RAVETZ R. Jerome (1971), *Scientific Knowledge and its Social Problems*, Oxford, Oxford University Press.
- RIP, Arie, Thomas J. Misa y Johan Schot (1995), *Managing Technology in Society*, Londres, Pinter.
- ROCO, M.C. (2003), "National Nanotechnology Investment for the FY2004 Budget Request", en AAAS, *Research and Development FY 2004*, capítulo 25.
- ROCO, Mihail (2004), "Nanoscale science and engineering: unifying and transforming tools", *AIChE Journal*, 50 (5).
- y William Bainbridge (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, Estados Unidos, National Science Foundation.
- ROCO, Mihail (2005), Presentación en la Reunión Nano Ethics, Universidad de Carolina del Sur [Registro personal GDR] 3 de marzo.
- ROSE, Hilary y Steven Rose (1980), *La radicalización de la ciencia*, México D.F., Nueva Imagen.
- ROYAL SOCIETY (2004), *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, Reino Unido.
- SAXE FERNÁNDEZ, John (s/f), *Terror e imperio*, México, D.F., Debate-Arena, Random House Mondadori (en prensa).
- y Gian Carlo Delgado (2004), *Imperialismo y Banco*, La Habana, Centro Marinello.
- SAXE-FERNÁNDEZ, John (1999), *Globalización, crítica a un paradigma*, México, D.F., Plaza y Janés.
- (2002), *La compra-venta de México*, México, D.F., Plaza y Janés.
- SELIN, Cynthia (2006), "Time Matters: temporal harmony & dissonance on Nanotechnology Networks", *Time & Society*, Londres, 15 (121-139).

- SFILIGOJ, Antonio (2003), "Towards a new research-capital relationship: a case of study", presentación en Euro NanoForum 2003, Trieste, 10 de diciembre.
- SINISCALCHI, Joseph (2001), "Nonlethal Technologies and Military Strategy", en William Martell, *The Technological Arsenal: Emerging Defence Capabilities*, Washington D.C., Smithsonian Institution Press.
- SMALL TIMES (2003a), "Inside small tech: people" *Small Times*, 3(6) (septiembre-octubre).
- (2003b), "Signed, sealed, delivered: nano is president's prefix of the day", *Small Times* (diciembre).
- STIEGLER, Bernard (2002), *La técnica y el tiempo*, Hondarribia (Gipuzcoa), Hiru.
- SUBCOMMITTEE ON BASIC RESEARCH (1999), *Nanotechnology: the state of nanoscience and its prospects for the next decade*, Washington D.C., Committee on Science, House of Representatives, Hearing núm. 106-40, 22 de junio.
- SUBCOMMITTEE ON SCIENCE TECHNOLOGY AND SPACE (26 de junio de 1992), *New technologies for a sustainable world*, Washington, EUA, Committee on Commerce, Science and Transportation. United States Senate, Hearing núm. 102-967, 26 de junio.
- THOMPSON, Graham, y Paul Hirst (2000), *Globalization in Question*, Londres, Polity Press.
- Veraza Urtusiasgtegüi, Jorge (1987), *Para la crítica de las teorías del imperialismo*, México, D.F., Itaca.
- VÍA CAMPESINA Y UNIÓN NACIONAL DE TRABAJADORES AGRÍCOLAS (2002), Declaración a *La Jornada*, México, 8 de mayo.
- WATANABE, Myrna (2003), "Small world, big hopes", *Naturejobs*, 27 de noviembre.

# Estudios ELSA\* en nanociencia y nanotecnología: una observación metodológica\*\*

Roger Strand

### **Introducción: la demanda de estudios ELSA en nanociencia y nanotecnología**

LOS ESTUDIOS ELSA, o estudios de los Aspectos Éticos, Legales y Sociales de la ciencia y la tecnología están siendo usados desde hace varios años. Aunque podría decirse que dichos análisis han existido desde la antigua Grecia, una decisión crucial de nuestro tiempo fue la de incluirlos en el Proyecto Genoma Humano. En este sentido, el presente apartado focalizará en tres factores interrelacionados en su reciente desarrollo.

Primero, las actitudes públicas respecto al desarrollo tecnológico han cambiado, particularmente en los países industrializados. Por ejemplo, los estudios de licenciatura y posgrado en ciencias naturales están perdiendo su popularidad en todos los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Y, a pesar de que el grueso de la innovación tecnológica aparentemente está siendo aprobada por el público (en los países desarrollados es notable el caso de las tecnologías de la información y la comunicación), existen casos relevantes en los que las opiniones del público y las de los expertos/tecnócratas del *establishment* se encuentran en un serio conflicto que pone al sistema político en una situación adversa. Un ejemplo destacado es la percepción pública de la biotecnología, sobre todo respecto al uso de variedades transgénicas (OGM) en la agricultura. Esta situación ha llevado a reconocer la necesidad de entender la percepción y actitud del público en cuanto a la tecnología. Mientras unos sugieren la necesidad de una plataforma de conocimiento estratégico sobre las percepciones del público, desde la cual se pueda

\*Ethical, Legal and Social Aspects (Aspectos éticos, legales y sociales).

\*\*Agradezco a Gian Carlo Delgado Ramos por la traducción al español; y a él y a Ana Delgado Alemán por sus valiosos comentarios y sugerencias durante la preparación de este trabajo.

actuar sobre éstas y modificarlas, otros prefieren mantener el caso abierto independientemente de si el público tiene buenas o malas razones para estar en contra de la biotecnología, enfatizando la necesidad de comprender y aprender a partir del análisis de las diversas perspectivas que están presentes en el debate. La mayoría tendería a coincidir, sin embargo, en que la situación actual de desconfianza entre el público y el *establishment* tecnológico es altamente indeseable y costosa.

Segundo, durante las últimas décadas ha habido un avance sustancial en campos académicos concernientes a los vínculos entre ciencia, tecnología y sociedad. Los estudios filosóficos e históricos de la ciencia han estado presentes por siglos, y la sociología de la ciencia fue académicamente bien desarrollada en la década de 1930. Sin embargo, el enfoque durante el periodo que va de 1920 a 1970 se limitó, más bien, a aspectos de la estructura interna de la ciencia, sobre todo la lógica científica. Esto fue particularmente cierto para las comunidades de académicos anglosajones. El trabajo de Tomas Kuhn (1970 [1962]) puede ser visto como el punto de partida de una tendencia a contracorriente, introduciendo no sólo la noción de “paradigma” sino también la conveniencia de observar la ciencia en relación con la sociedad y la cultura en la que es producida. En este panorama, desde las décadas de 1970 y 1980 se observa una nueva orientación de la filosofía de la ciencia, un crecimiento de la filosofía de la tecnología y el surgimiento de toda una disciplina académica usualmente denominada “Science, Technology and Society Studies” (STS, por sus siglas en inglés) o estudios sobre ciencia, Tecnología y sociedad. Más aún, después de un periodo de declive a mediados del siglo xx, la ética normativa o la filosofía moral ha florecido y es actualmente una disciplina de gran vitalidad, con un creciente número de institutos de investigación. Como en STS, la cuestión de fondo es la reorientación hacia cuestiones externas y concretas, sobre todo relacionadas con la ética médica, bioética, ética de la investigación científica, etcétera. Por tanto, puede considerarse que las herramientas para el estudio de los aspectos éticos y sociales de la ciencia y la tecnología son hoy más adecuadas que en cualquier otro momento.

En tercer lugar, hay algunas señales de un considerable aumento en la preocupación por aspectos éticos, legales y sociales entre los mismos “productores” de la ciencia y la tecnología, en particular entre los científicos, lo que podría identificarse como una tendencia creciente y sin antecedentes desde el Proyecto Manhattan y las iniciativas de Leo Szilard y otros físicos prominentes de las décadas de 1950 y 1960 en relación con la carrera nuclear. Sin embargo, en la década de 1990, su crecimiento claramente se ha intensificado. En este sentido, en múltiples universidades se están implementando cursos en bioética y de ética de la investigación. Asimismo, algunos científicos están tomando ini-

ciativas para la elaboración de estudios ELSA en sus propias especialidades (como en el mencionado caso del Proyecto Genoma Humano). Consecuentemente, las revistas especializadas registran cada vez más cartas (aunque aún pocas) en las que los científicos reflexionan acerca de los aspectos éticos, filosóficos y sociales de su propio quehacer científico, como puede verse en revistas como *BioEssays* y *Science*. Tal desarrollo debería ser bienvenido como una señal de la “cara humana” de la ciencias naturales.

Estas tres tendencias podrían ser interpretadas como diferentes expresiones de la misma realidad: el desarrollo científico-tecnológico, entendido desde una lógica empresarial ha cambiado esencialmente su naturaleza a lo largo del siglo XX y merece una atención mucho mayor que antes. Si la ciencia solía ser una iniciativa marginal estimulada por la curiosidad, ahora es una aventura masivamente organizada y en parte comercializada, objeto de gran financiamiento, muchas veces con la finalidad explícita de producir aplicaciones tecnológicas e incluso ganancias económicas para sus inversores. Al mismo tiempo, el desarrollo tecnológico en esta forma *science-driven* relativamente reciente se coloca como uno de los motores centrales de la economía global.

Sin embargo, la innovación científico-tecnológica tiene la característica fundamental de ser impredecible en el sentido de que sus resultados son, en principio, desconocidos hasta que sobrevienen. Si la ciencia y la tecnología son la locomotora de la sociedad moderna, se trata, aparentemente, de una locomotora sin mandos. Muchas veces, el tren se ha dirigido hacia grandes beneficios para la humanidad (mejora de la salud, de las condiciones de vida), pero simultáneamente, ha habido aspectos de su desarrollo que han creado ambivalencias fundamentales respecto a la tecnología moderna: la dependencia de la tecnología avanzada y la resultante alienación cuando sus avances trascienden lo que el ciudadano ordinario puede captar de manera literal o mental; el potencial destructivo de la tecnología (como fue mostrado por el uso de la bomba atómica en Hiroshima y Nagasaki); los problemas medioambientales no anticipados; y la repulsión religiosa, estética o ética resonando con la narrativa de Frankenstein o el mito judío del Golem (caso de las disputas sobre la clonación de Dolly y el diseño de un híbrido entre oveja y cabra).

Dado que la tecnología tiene el potencial de beneficiar o dañar al ser humano y el medio ambiente y, debido a que ese potencial se ha incrementado a pasos agigantados, resulta claro que el deseo de reflexionar, estudiar y entender la relación entre ciencia, tecnología y sociedad es una cuestión bien justificada.

Esta línea de razonamiento es doblemente aplicable al desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología, sobre todo si consideramos que algunos actores involucrados directamente en estos campos expresan su creencia en que la nanotecnología podría perfilarse como algo muy poderoso en el futuro. De hecho,

una constante en las discusiones existentes sobre nanotecnología es predecir el potencial tecnológico más allá del que verdaderamente existe hoy en día; incluso en ausencia de ideas viables sobre cómo alcanzar tales tecnologías. Resulta tentador contrastar lo anterior con la poco afortunada afirmación del Nobel Jacques Monod (1971) quien suscribió que la biología molecular había demostrado que –y por qué– la clonación era en principio imposible. Esta advertencia fue puesta en ridículo en menos de cinco años. Tomando nota de lo indicado, es pertinente darle la razón a la comunidad nanocientífica-nanotecnológica por su disposición a contemplar previsiones y, por tanto, la consecuencia lógica sería estimular los estudios ELSA para el tratamiento académico-profesional de este asunto.

En resumen, son diversos los argumentos que previamente se han señalado y que deberían llevarnos a estimular la demanda de estudios ELSA en nanociencia y nanotecnología:

1. la necesidad de entender las percepciones y actitudes del público antes del lanzamiento de una nueva tecnología;
2. los recientes avances en campos académicos preocupados por tales estudios;
3. la débil pero perceptible tendencia hacia una creciente preocupación social y ética dentro de las ciencias;
4. y, sobre todo, la presencia de buenas razones para ser ambivalente y estar social y éticamente al tanto de los impactos de nuevas ciencias y tecnologías.

Queda aún por identificar de modo más concreto qué puntos exactamente habría que indagar y qué metodologías aplicar. No pretendemos definir aquí este asunto en su totalidad ya que se trata de un proceso que finalmente ha de ser resuelto como parte intrínseca de la práctica de investigación. No obstante, a continuación se tratará de apuntar algunas direcciones que posiblemente resulten útiles.

### **Estudiando los aspectos éticos y sociales**

Las cuestiones de fondo que motivan los estudios sobre los aspectos éticos y sociales podrían ser formuladas en preguntas como: ¿cuál será el retrato de la sociedad cuando tal o cual método o producto nanotecnológico, o la nanotecnología en general, sea introducido?, ¿serán económicamente rentables tales productos o métodos?, ¿su desarrollo nos beneficiará o perjudicará?, ¿en beneficio o perjuicio de quién(es)?, ¿existen problemas éticos?

Nótese que lo importante es dar cuenta de las fortalezas y limitaciones de las aproximaciones académicas a esas preguntas. Y es que, en pocas palabras,



las limitaciones surgirán porque las preguntas anteriormente expuestas son inexactas y el futuro, incluyendo el “nanofuturo”, es, en general, impredecible. Por tanto, ¿qué se puede hacer?

Un primer paso podría ser investigar el carácter intrínsecamente ético de prácticas y productos reales o hipotéticos a partir de varios sistemas de principios éticos (doctrinas religiosas, derechos humanos) o también relativos a intuiciones y creencias éticas de personas concretas. Esto puede ser identificado en las controversias en torno a la biotecnología, en particular a la clonación y/o modificación genética de humanos o invertebrados mayores, así como al uso de embriones humanos y de células madre para usos terapéuticos.

El candidato nanotecnológico más obvio para tales consideraciones intrínsecamente éticas sería el acoplamiento de la tecnología de la información con el cerebro y otras partes del cuerpo humano, por ejemplo, para la conexión de la nano-microelectrónica con las células nerviosas. La propuesta estadounidense de la convergencia de la nanotecnología, la biotecnología, la tecnología de la información y las ciencias cognitivas o la denominada “convergencia NBIC” considera oportuna y puntualmente la potencialidad de esa posibilidad con el supuesto objeto del “mejoramiento de las capacidades humanas” (Rocco *et al.*, 2004).

Se trata de una posibilidad que ha sido una preocupación pública desde hace algún tiempo. De hecho, la cultura popular parece haber estado a la cabeza del debate sobre la problemática, sobre todo a través del género de la ciencia ficción (*e.g.* Gibson, 1984). Por tanto, los estudios que se enfocan a dicho “carácter intrínseco” de las prácticas tienen un cierto valor, sin embargo, presentan limitaciones considerables que radican en el obvio y amplio desacuerdo en torno a los principios éticos que son “adecuados”.

En segundo lugar, una corriente importante de pensamiento ético relaciona el carácter moral de una acción con los beneficios y daños que pueda generar. En las formulaciones clásicas del utilitarismo, la acción moral buena será esencialmente aquella que genera la mayor felicidad en el mundo, es decir, de la mayoría de la gente, una perspectiva que deja fuera la difícil cuestión del estatus moral de otras formas de vida. En este tipo de pensamiento ético, las futuras consecuencias se vuelven el mayor objetivo de preocupación, de forma similar a como proceden los análisis económicos de tipo costo-beneficio. La principal diferencia sería que los análisis económicos tienden a asumir que todo valor puede ser reducido a su forma monetaria (lo que los lleva a una definitiva reducción de su alcance analítico!), mientras que, la consideración ética-sociológica típica más bien es sensible a la distribución del riesgo, los costos y los beneficios (¿quiénes son afectados?), así como a cuestiones de justicia y poder. Por tanto, se podría decir que un análisis económico del riesgo-costo-beneficio es, de hecho, equivalente a un análisis utilitarista, en el cual todas las opciones éti-

cas han sido previamente determinadas. Es, por ejemplo, el caso de la elección de una tasa de descuento, que determina la importancia de las preocupaciones de las generaciones presentes y futuras (en función de la teoría general que se tenga del futuro del desarrollo económico).

Asimismo, se pueden realizar estudios de aspectos sociales enfocados en el presente o el futuro. En el presente estarían, entre otras cuestiones, las percepciones y conocimiento público actuales y la legislación y las instituciones vigentes que estimulan y guían el desarrollo nanotecnológico. Sin embargo, es cierto que podría preguntarse sobre la utilidad de esta clase de informes escritos. Una vía más afín a estándares académicos sería su enriquecimiento a partir de la implementación de perspectivas teóricas con el objeto de producir un entendimiento más amplio de la situación. Un excelente ejemplo de la literatura en sociología del riesgo serían los estudios del sociólogo inglés Brian Wynne y sus colegas sobre las dimensiones sociales de la planta nuclear de reprocesamiento Sellafield.

En este punto vale la pena hacer una apreciación marcadamente subjetiva. Existe el peligro, en el planeamiento de los estudios ELSA, de que el proceso de formulación de objetivos de investigación sea fuertemente dominado por científicos de las ciencias naturales (o "exactas"). Por supuesto, tales científicos y tecnólogos tienen una invaluable perspectiva interna acerca de las prácticas a estudiar, pero en cuanto a los métodos de las ciencias sociales se refiere, generalmente han de ser considerados como personas comunes y corrientes. El resultado es que, algunas veces, lo que pudo haber sido un proyecto de investigación por demás interesante, resulta ser reducido (por las obligaciones y compromisos del mismo) a la producción de informes de trivialidades de poco interés. Por tanto, el planeamiento de estudios ELSA debe ser una actividad interdisciplinaria en la que las competencias de las humanidades, así como de las ciencias naturales y sociales necesariamente deben estar bien representadas.

Los estudios sociales del futuro incluyen exactamente los mismos problemas metodológicos de aquellos éticos y económicos: el futuro de los sistemas que incluyen al ser humano no se puede predecir con seguridad. Es un contexto en el que, de hecho, la publicación de una predicción es en sí misma una acción que puede cambiar el futuro (mediante los arduamente conocidos mecanismos de profecías autocumplidas y autodestructivas).

Otro ingrediente que se suma a tal impredictibilidad es el carácter esencialmente innovador de la ciencia y la tecnología, un factor que limita la utilidad de las evaluaciones ordinarias de riesgo o de riesgo-costo-beneficio al análisis estrecho y de corto plazo sobre tecnologías ya bien conocidas. El cálculo de riesgos de daños o accidentes de tecnologías actualmente no existentes sería una aberración.

Ahora bien, una característica de la tecnología es que puede ser transformada de manera creativa una vez que es puesta en manos de la sociedad, lo que la lleva a usos que no habían sido pensados con anterioridad. El desarrollo de las computadoras personales y en particular del Internet (World Wide Web) son ejemplos llamativos. Más aún, las evaluaciones de riesgo y similares asumen que el paquete completo de posibles resultados y probabilidades es conocido, pero ciertamente, muchos efectos adversos (¡como benéficos!) de la ciencia y la tecnología han sido desconocidos al momento de su implementación. Por ejemplo, el *thalidomide*, un medicamento para dormir y para tratar los malestares matutinos de las mujeres embarazadas se utilizó a finales de la década de 1950 bajo la ignorancia de las anomalías congénitas que provoca específicamente en humanos (ningún defecto de nacimiento fue detectado en ratas y ratones). Así, retrospectivamente, es fácil dar cuenta que tal ignorancia se tradujo en evaluaciones preeliminares de riesgo altamente engañosas (Strand, 2000).

Por tanto, las evaluaciones de riesgo o de riesgo-costo-beneficio (y por tanto, en alguna medida, los análisis éticos) funcionan adecuadamente sólo con sistemas muy definidos y en situaciones de responsabilidad limitada. Se ha argumentado que las evaluaciones de riesgo no responden a interrogantes como ¿qué pasará? o ¿es peligroso? sino más bien a aquéllas del tipo, ¿nos podrán demandar? Como tal, esos análisis son actividades normales para la industria y las iniciativas gubernamentales de corto plazo que, de todos modos, son realizadas con o sin la presencia de estudios ELSA. El principal beneficio de vincular las actividades ELSA a las evaluaciones de riesgo es contribuir, parcialmente, a la ampliación de su visión.

### Problemas prácticos *versus* técnicos

En este punto, la distinción entre problemas científicos, técnicos y prácticos de Jerome Ravetz (1971) nos parece acertada.

<i>Tipo de problema</i>	<i>Meta específica</i>	<i>Propósito</i>
Científico	(puede variar)	Acumulación de conocimiento
Técnico	Requisito predeterminado	(puede variar)
Práctico	(puede variar)	Valores finales

La investigación básica (“pura”, “fundamental”) puede ser categorizada como la búsqueda curiosa de problemas científicos. Es un proceso en el que al comienzo se fija una meta específica, pero tradicionalmente se considera aceptable que ésa sea reemplazada por otra en el transcurso de la investigación, mien-

tras se realice una investigación buena y correcta, se produzcan buenas publicaciones y por tanto se acumule conocimiento. Según Ravetz, permitir algún rango de variación de las metas específicas es un prerrequisito para una buena ciencia básica.

Por otra parte, los problemas técnicos son definidos con base en los requisitos (técnicos) a alcanzar. Si uno necesita un transmisor de un tamaño determinado, el problema no se habrá resuelto una vez que se haya inventado uno excelente pero de grandes dimensiones. Igualmente, un problema técnico no es definido en términos del propósito último (por ejemplo, si la sociedad realmente se beneficia por tener cada vez más teléfonos celulares).

En contraste, los problemas prácticos son determinados por sus propósitos finales, tales como la salud, la prosperidad, el desarrollo sustentable, la equidad, la preservación de la naturaleza salvaje, el bienestar del ciudadano individual, etcétera. El valor de las soluciones a dichos problemas prácticos se mide o determina en términos de su capacidad para conseguir el bienestar final. Por ejemplo, desde tal perspectiva, el DDT no puede ser defendido porque cumple con sus requisitos técnicos, sobre todo cuando sus efectos atentan en contra del medio ambiente. Aún más controvertida resulta la revolución verde, que introdujo especies de semillas mejoradas que sin duda cumplían con los requisitos de mayor eficiencia a pesar de que no sea claro hasta qué punto esto realmente contribuyó a aliviar el problema práctico de la hambruna y la malnutrición. Se asegura que en algunos países —como México— la revolución verde, al obligar a un cambio en la tecnología agrícola empleada, modificó las estructuras sociales agrarias de manera tal que la producción se incrementó, pero, al mismo tiempo originó una redistribución de los bienes en detrimento de los más pobres.

Por todo lo indicado, parece justo exigir que los estudios ELSA focalicen los problemas prácticos ya que la ciencia y la tecnología se hacen cargo de los problemas científicos y tecnológicos respectivamente. Es más bien en esa esfera, la de los problemas prácticos, en la que tendemos a ser inexpertos. Por siglos, la ideología moderna ha pensado que los problemas prácticos pueden ser solucionados eficientemente a través de su división y reducción a problemas técnicos de menor dimensión (en la línea de pensamiento cartesiano). Sin embargo, particularmente durante el siglo XX hemos aprendido que dicha ideología sólo funciona si los sistemas en cuestión son bastante simples. Si los patrones de reacción son complejos (como en las sociedades humanas), la consideración de un problema como técnico, no asegura por sí mismo el alcance del propósito final. Lo que sucede, más bien, es que los problemas prácticos son redefinidos, desde el propósito original (“bienestar general”) hacia un nuevo propósito que es técnicamente posible y por tanto operacional (“crecimiento económico”). Los

estudios ELSA también pueden servir para monitorear tal proceso. Algunas veces es llamativo cómo algunos campos del desarrollo de la tecnología médica parecen enfocarse a satisfacer exclusivamente las necesidades de los ricos de media edad con las típicas enfermedades de su estilo de vida occidental, al punto de que incluso la Organización Mundial de la Salud (OMS) decidiese que el sobrepeso es un problema de salud comparable con la hambruna o la malnutrición.

Es pues necesario algo que trascienda las discusiones estrechas sobre las posibles preocupaciones éticas suscitadas por las cualidades intrínsecas o los efectos adversos de corto-plazo de un instrumento técnico dado, en un contexto en el que es necesario dar cuenta de cuestiones como: ¿cuáles son los problemas importantes en el mundo y cómo puede contribuir la tecnología en general y la nanotecnología en particular a resolverlos?, ¿podría el desarrollo de la nanotecnología dañar gravemente los valores o propósitos prácticos de las distintas sociedades?

Por todo lo anterior, y teniendo en cuenta el contexto de las políticas de investigación que actualmente desarrollan muchos países, es necesario un esfuerzo para evitar que la perspectiva analítica caiga en preguntas de estrecha perspectiva o alcance como: ¿puede esta ciencia o tecnología ser lucrativa para la industria?, ¿pueden contribuir a la competitividad nacional? Incluso, uno podría argumentar qué organismos supranacionales como la Unión Europea deberían responsabilizarse directamente en tanto que es más complicado para países individuales, y aún más para empresas comerciales, trascender la miopía lucrativa de corto plazo.

### Estudios de amplio alcance

Los argumentos antes mencionados constituyen una severa crítica para el grueso de estudios ELSA de la ciencia y tecnología. Aunque éstos pueden ser útiles para la clarificación de ciertas decisiones de corto plazo (o de carácter más técnico), nuestra opinión, expuesta anteriormente, es que éstos fallan frecuentemente en lo que se refiere a los problemas prácticos.

Sin embargo, algunos científicos de las ciencias naturales han sido capaces de referirse, a su modo, a problemas prácticos. Destacan particularmente las publicaciones y actividades del Foresight Institute y notablemente del científico estadounidense K. Eric Drexler. La literatura de ciencia ficción también ha sido más que entusiasta en señalar la necesidad de un razonamiento creativo e imaginativo acerca de lo desconocido de la nanociencia, sobre todo acerca de escenarios que implican nano-entidades autorreplicantes enloquecidamente fuera de control (“el escenario Star Trek”, “el problema del *grey goo*”). De hecho,

una evaluación un tanto cruel es la que sugiere que las publicaciones de Drexler y las de aquellos novelistas de ciencia ficción (*e.g.* Michael Crichton) constituyen una misma categoría.

En este punto vale aclarar que, si bien es cierto que por un lado los esfuerzos para usar creativamente la imaginación son valiosos en sí mismos y merecen reconocimiento, no obstante, como ha sido observado por Michael Gross (1999), visiones como las de Drexler son “ilustraciones de lo que podría pasar si todo fuese de acuerdo con sus planes (¡algo que nunca sucede!)” (Gross, 1999: 210).

Lo que parece necesario es la combinación de la imaginación científica con la investigación crítica sobre posibles fuentes de incertidumbre e ignorancia dentro y en los límites de la frontera de la nanociencia, sobre todo cuando es frecuente la reivindicación de que la nanociencia es una de las fronteras inexploradas de la ciencia.

Si ello es así, podríamos esperar que el cuerpo de conocimiento científico sea mejorado en el sentido de que actualmente es incompleto y/o parcialmente incorrecto. Esto implica que algunas de las suposiciones que usaremos en decisiones prácticas o técnicas serán incompletas o erróneas. Súmese el hecho de que los científicos frecuentemente tienen corazonadas o habilidades experimentales que pueden indicar en qué direcciones podrían haber incertidumbres, defectos o ignorancia. Sin embargo, tal perspicacia cualitativa parcialmente implícita o incluso tácita, raramente puede ser expresada en términos de costo, beneficio o riesgo, y por tanto frecuentemente se evapora en su camino hacia las esferas de los tomadores de decisiones (políticos, etcétera).

Ante ello, en 1990, Silvio Funtowicz y Jerome Ravetz desarrollaron un armazón analítico para caracterizar y comunicar tal incertidumbre (véase por ejemplo Funtowicz y Ravetz, 1990 y 2000) provocando, dentro de las ciencias ambientales y las especialidades en gobernanza ecológica y tecnológica, todo un nuevo desarrollo de propuestas similares de construcción de herramientas para el manejo de la incertidumbre en problemas prácticos (véase un amplio abanico de literatura bajo la rúbrica de “ciencia posnormal”; por ejemplo la revista *Futures*).

Más aún, para aquellos lectores bien informados de las tradiciones humanísticas y de las ciencias sociales, las deliberaciones de los científicos de las ciencias “duras” sobre los aspectos éticos y sociales de la nanotecnología (como las del Foresight Institute) resultan frecuentemente “ingenuas” por las suposiciones y sustentaciones que hacen debido a que tienden a tratar, como si fuera 100 por ciento certero, tanto el conocimiento científico actual como ideas ordinarias sobre la sociedad (digamos la necesidad de un mercado capitalista competitivo para garantizar una buena distribución de los bienes y servicios). Consecuen-

temente, parece evidente que para llevar a cabo investigaciones ELSA adecuadas y bien informadas se requiere de personal de investigación apropiadamente formado en las humanidades y las ciencias sociales así como en conocimientos en nanociencia. Ello implica, entonces, que los estudios ELSA deberían hacer esfuerzos esencialmente interdisciplinarios y –como recomendación personal– estimular y apoyar la colaboración a largo plazo entre expertos ELSA y grupos de investigación embarcados en nanociencia.

### Recapitulación y recomendaciones

Si mis líneas de razonamiento son correctas, se podría concluir con lo siguiente:

- a) Existe una demanda ampliamente justificada de estudios ELSA en nanociencia y nanotecnología.
- b) Los estudios convencionales en aspectos éticos y sociales pueden ser útiles para reforzar las decisiones de corto plazo (“realistas”) relacionadas con la implementación y gobernanza de la tecnología.
- c) A pesar de que las evaluaciones de riesgo o los análisis riesgo-costo-beneficio –y sus contrapartes éticas– son igualmente valiosos para la toma de decisiones y la clarificación de responsabilidades, éstos no pueden manejar la inexactitud e impredecibilidad del mundo real del desarrollo tecnológico.
- d) Por tanto, es evidente la necesidad de discutir y monitorear las preguntas y potenciales soluciones a los grandes problemas prácticos: ¿será la nanotecnología realmente benéfica para todos?, ¿cómo?
- e) Para conseguir lo anterior, una agencia de financiamiento a la investigación podría no sólo manifestar la necesidad de estudios ELSA, sino también exponer la justificación de éstos con el objeto de trascender el enfoque actual basado en la rentabilidad comercial y la competitividad económica.
- f) Ello implica el desarrollo de estudios ELSA de amplio alcance que, al mismo tiempo, sean concebidos como una responsabilidad supranacional.
- g) Ambiciones de amplio alcance requerirán esfuerzos interdisciplinarios que combinen una mayor imaginación científica con el análisis y el manejo adecuado de la incertidumbre y la ignorancia (como se hace, por ejemplo, en la “ciencia posnormal”) y con los poderes críticos de la ciencia social y las humanidades (considérese, entre otros, los argumentos sociológicos para la crítica a la modernidad).
- h) Finalmente, vale señalar que afortunadamente hay algunas tendencias en la filosofía de la ciencia y la tecnología y en los llamados estudios en ciencia, tecnología y sociedad que ya comienzan a albergar estas necesidades.

## Bibliografia

- FUNTOWICZ, Silvio O. y Jerome R. Ravetz (1990), *Uncertainty and Quality in Science for Policy*, Dordrecht, Kluwer Acad. Press.
- (2000), *La ciencia posnormal. Ciencia con la gente*, Barcelona, Icaria Antrazyt.
- GROSS, Michael (1999), *Travels to the Nanoworld*, USA, Perseus Publishing.
- KUHN, Thomas S. (1970), *The structure of scientific revolutions*, 2a. ed., Chicago, University of Chicago Press.
- MONOD, Jacques (1971), *Chance and necessity: an essay on the natural philosophy of modern biology*, Nueva York, Knopf.
- RAVETZ, Jerome R. (1971), *Scientific Knowledge and its Social Problems*, Oxford, UK, Clarendon Press.
- ROCO, Mihail y W.S. Bainbridge (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, USA, National Science Foundation.
- STRAND, Roger (2000), "Naivety in the molecular life sciences", *Futures* 32, pp. 451-470.
- WYNNE, Brian (1992), "Uncertainty and environmental learning-preconceiving science in the preventive paradigm", *Global Environmental Change* 2, pp. 111-127.



## La nanotecnología, objetivación de la naturaleza y el futuro del trabajo humano

Guillermo Foladori y Noela Invernizzi

LUX RESEARCH, una empresa dedicada al estudio de la nanotecnología y sus negocios, estima que la venta de artículos con nanopartículas superará la suma de los 500,000 millones en el 2010 (Baker y Aston, 2005).<sup>1</sup> Las mercancías con nanocomponentes se extienden rápidamente a todas las ramas de la economía (*Forbes*, 2004). Todo indica que la velocidad con que se consolidarán las nanotecnologías también superará toda previsión. Algunos consideran que estamos frente a una nueva revolución tecnológica de impacto semejante al de la Revolución Industrial pero condensado en el tiempo a pocos años (CRN, s/f). El término que los economistas utilizan es *tecnologías disruptivas*, o sea, tecnologías que van a modificar radicalmente todo el sistema de producción, abarcando la mayoría de las ramas de la producción y convirtiendo rápidamente en obsoletas a las tecnologías actualmente vigentes, una vez que la producción industrial de nanoprodutos y con nanocomponentes alcance volumen masivo (Yonas y Picraux, 2001). Dado el carácter globalizado de la economía mundial, los impactos se sentirán en todo el mundo de manera prácticamente simultánea.

Un cambio tan rápido traerá consecuencias insospechadas. Pero, ¿está el mundo actual preparado para ello? Un elemento a favor es la experiencia adquirida en evaluación de riesgo y de impacto de tecnologías, productos, y procesos, tanto en el medio ambiente como en la salud humana. Algunos países ya están aplicando este tipo de análisis en respuesta a la creciente preocupación sobre el impacto que puedan tener las nanotecnologías en los países pobres y en desarrollo (RSYRAE, 2004), en la industria militar (Altmann y Gubrud, 2004; Delgado Ramos, capítulo 1 de este libro), en la vigilancia sobre la población civil (Mehta, capítulo 5 de este libro) y en el desfase respecto de la legislación (Bennett, 2004). No existe, sin embargo, en ningún país del mundo, un procedimiento socialmente aceptado que analice los posibles impactos de tecnolo-

<sup>1</sup> Como referencia, todas las exportaciones de América Latina y el Caribe en 2004 fueron de 461,000 millones de dólares; la deuda externa total de América Latina y el Caribe en 2004 fue de 721,000 millones de dólares (CEPAL, 2004).

gías con características disruptivas *antes* de que ellas se expandan y generen consecuencias imposibles de evitar o revertir (Sarewitz y Woodhouse, capítulo 7 de este libro), como sí ocurre, por ejemplo, con los fármacos, que son sometidos a prueba, y no pueden venderse libremente antes que la institución pública responsable los autorice.

En este capítulo situamos la revolución nanotecnológica en el contexto de la evolución histórica del proceso humano de objetivación de la naturaleza. Mostramos como este proceso ha ido de la mano de la objetivación del propio trabajo humano. En el cuadro de estas tendencias históricas y de las relaciones sociales que contemporáneamente han dado nacimiento a la nanotecnología analizamos uno de sus posibles impactos sociales. Argumentamos que el desarrollo acelerado de las nanotecnologías conlleva la tendencia a incrementar el desplazamiento del trabajo humano de los procesos productivos y, con ello, también a desvincular al trabajo humano como criterio de pertenencia y de estimación de los individuos en la sociedad. Es imprescindible, por lo tanto, que las políticas públicas sobre nanotecnología incluyan en sus agendas la problemática de las transformaciones en la ocupación. Esto es de particular relevancia en los países en desarrollo, donde el desempleo y la pobreza ya son alarmantes. No es posible considerar unilateralmente las potenciales ventajas energéticas, o sobre el medio ambiente, o sobre la salud de estas tecnologías, sin tomar en cuenta que la otra cara de la moneda es el muy probable incremento del desempleo y la exclusión. Si así ocurriera, ¿a quién beneficiaría la nanotecnología?

### La objetivación de la naturaleza y el trabajo humano

La historia de la humanidad ha estado asociada a la objetivación de la naturaleza externa. Esto es, el ser humano ha ido transformando de manera creciente la naturaleza para convertirla en objetos y espacios útiles a la satisfacción de sus necesidades. Sin embargo, ello no distingue a la especie humana del resto de los seres vivos más que en grado. Ni siquiera el uso de instrumentos es privilegio humano, como varios estudios de la etología han demostrado.<sup>2</sup>

A ese proceso de transformación de la naturaleza para satisfacer necesidades se suma un segundo elemento, que hace de la actividad humana algo específico a su especie. Se trata de la doble mediación entre su cuerpo y la natura-

<sup>2</sup>Así, por ejemplo, estudios de madres chimpancés del bosque Tai en Costa de Marfil mostraron que ellas enseñan a sus hijos a romper nueces utilizando piedras como instrumentos. Algunas gaviotas se desplazan kilómetros para lanzar los moluscos capturados sobre rocas y así partírlas; en este caso las rocas se convierten en el instrumento fijo al cual se lleva el objeto de la actividad, al igual que hace el tornero que acerca la pieza al torno fijo (Gibson, 1991). Incluso Darwin ya había reparado que pájaros carpintero de las Islas Galápagos seleccionaban espinas fuertes y largas para utilizar, en ausencia de picos idóneos, como instrumento para sacar larvas y otros insectos de la corteza de los árboles.

leza externa, al fabricar instrumentos que producen otros instrumentos. Como señala Beck (1980), el ser humano es el único que usa instrumentos para fabricar instrumentos. Con las manos libres, el *Australopithecus* seguramente utilizaba instrumentos de manera amplia. Pero una cosa es utilizar un guijarro o un hueso como instrumento y otra muy diferente usar una piedra para dar forma a un instrumento que será posteriormente utilizado. El registro fósil de esta última variante corresponde al *Homo habilis*. Una inteligencia práctica, permite, si se cuenta con los apéndices corporales necesarios, usar instrumentos; pero se requiere un nivel de previsión de futuro mucho más desarrollado para crear instrumentos que no serán de aplicación inmediata.<sup>3</sup> Esto ha sido el resultado de un proceso evolutivo de millones de años.

La fabricación de instrumentos desarrolla la *tridimensionalidad* del tiempo. Se trata de una actividad en el *presente*, realizada con instrumentos del *pasado*, en función de una actividad de *futuro* (Kosik, 1989). En la mayoría de los seres vivos la naturaleza es apropiada como una extensión del propio cuerpo y de forma predeterminada. Pero, al producir instrumentos, el ser humano distancia la producción de su consumo, desarrollando el pensamiento reflexivo. Cuando está en uso el instrumento es una extensión del propio cuerpo que hace suya la naturaleza externa, la subjetiva. Cuando el instrumento no está en uso, al igual que el resto de la naturaleza, aparece como externo al propio cuerpo, como un elemento objetivo. La idea de futuro, el diseño mental de lo que se va a producir, esto es, la conciencia de un tiempo tridimensional son características tan importantes de cualquier proceso de producción como la actividad misma que lo concreta en productos materiales.

En la medida en que la naturaleza se objetiva es reordenada y reconstruida de formas variadas. Este es el aspecto intencional y consciente de la actividad humana. Al mismo tiempo, ocurre una consecuencia inesperada e inconsciente, fruto de la unicidad de la naturaleza: los resultados imprevistos. Los propios organismos, en su actividad biológica, generan resultados no buscados. Los animales que llevan su presa a la extinción, las cabras que acaban con la vegetación, o las cianobacterias que generaron el oxígeno tóxico para sí mismas pueden considerarse ejemplos de este tipo. Pero, obviamente, cuando la interacción con el medio ambiente se potencia a través del uso de instrumentos, no sólo las consecuencias son cuantitativamente mayores, sino también cualitativa-

<sup>3</sup>“La producción de instrumentos a nivel humano implica un acto desarrollado en el presente que no puede dissociarse de un propósito de uso del objeto en un tiempo futuro... La producción de instrumentos es psicológicamente mucho más complicada que el uso de instrumentos... el hombre no sólo hace el instrumento; independientemente de cualquier conocimiento tecnológico incorporado, él le da forma, y para esto debe tener una imagen en la cabeza que requiere de representaciones intrínsecas” (A. I. Hallowell, “The structural and functional dimensions of human existence”, *Quarterly Review of Biology* 1956 (31), pp. 98-99, citado por Ingold, 1986: 60).

mente distintas, porque elementos de la naturaleza pueden ser separados de manera nueva, creando intermediaciones también nuevas, y generando resultados imprevistos en escala cada vez mayor. La característica que justifica a la nanotecnología como una trayectoria tecnológica diferente es precisamente el hecho de que a nanoescala los elementos adquieren propiedades físicas diferentes (en resistencia, conductividad eléctrica, reactividad química, propiedades ópticas, magnéticas, etcétera). Las nuevas interconexiones que los materiales nanotecnológicos puedan establecer con el entorno es una cuestión imprevisible en toda su extensión.

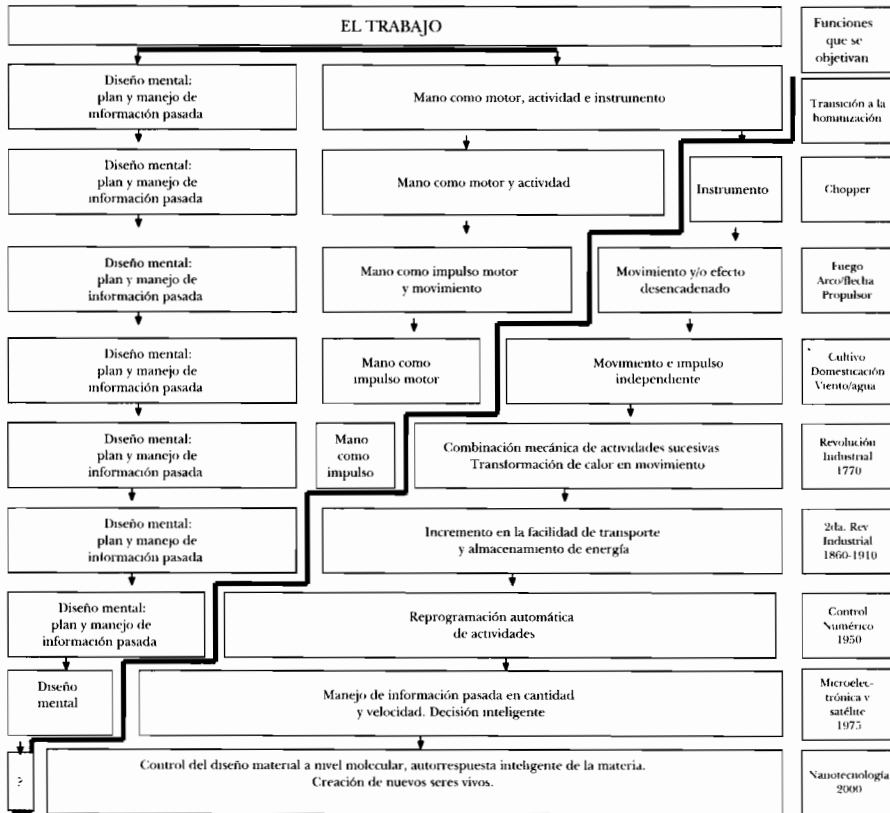
La objetivación de la naturaleza externa ha sido un proceso creciente, que ha ido de la mano de la objetivación del propio trabajo humano. En el transcurso de la historia de la humanidad las actividades de destreza física requeridas por el proceso de trabajo fueron pasando de la mano al instrumento y a la máquina. Y también surgió la división del trabajo, entre aquellos que realizaban las actividades prácticas y quienes realizaban las actividades intelectuales de diseño. Luego, parte de estas últimas comenzaron a ser transferidas a máquinas como las computadoras.

Si contemplamos este proceso en sus grandes tendencias históricas vemos que las actividades físicas humanas relacionadas a los procesos productivos son cada vez menos importantes. Las máquinas han desplazado al trabajo humano práctico, pero no lo han hecho en el mismo grado con el trabajo intelectual de diseño, que actualmente comprende el desarrollo científico-tecnológico. En este devenir, como veremos más adelante, cambió el criterio de valoración de las personas y de pertenencia de las personas a una determinada sociedad.

La figura que sigue ilustra de manera muy simple dos procesos paralelos. Por un lado, la creciente objetivación histórica de la naturaleza, que puede leerse como un mayor control de la naturaleza para fines humanos. Por otro, el también creciente proceso de transferencia de actividades del cuerpo humano a cosas materiales que son cristalización de conocimiento pasado y actúan como medios de producción. La figura destaca las dos grandes áreas que se requieren para producir en términos humanos: el diseño mental de lo que se pretende realizar, y el desempeño de la actividad. En su conjunto puede verse cómo ambas áreas se ven históricamente desprendidas del cuerpo humano, y objetivadas en cosas previamente producidas (medios de producción).

La objetivación de la naturaleza se ejemplifica con grandes revoluciones tecnológicas que marcan fases o saltos. Se comienza por el trabajo, que es el procedimiento mediante el cual el ser humano transforma la naturaleza externa. La primera división del proceso de trabajo se da entre el diseño mental o

EL PROCESO DE OBJETIVACIÓN DE LA NATURALEZA



plan, que supone una acumulación de conocimiento pasado, apropiado de manera directa o por aprendizaje de otros congéneres, y la actividad, que abarca tanto el movimiento como el instrumento.

En el primer escalón identificamos al instrumento con la mano misma, y representa el arranque, prehumano. El segundo escalón muestra el gran salto que constituye la utilización del instrumento, ejemplificado con la tosca hacha de piedra paleolítica. Se separa la mano como motor (energía) y como actividad, del instrumento que se interpone entre la actividad y el objeto de trabajo. Esto significa una objetivación de la naturaleza sobre la cual recae la actividad. El tercer escalón está marcado por una nueva subdivisión. Aparecen ciertos instrumentos que potencian el movimiento originado por el cuerpo humano. El fuego, luego el arco y flecha, o el propulsor, constituyen formas

mediante las cuales el ser humano aplica un primer impulso y logra que el movimiento originario se multiplique. El cuarto escalón muestra cómo el propio movimiento se independiza del cuerpo humano, como en el caso de la utilización de energía eólica, hidráulica, el cultivo o la domesticación de animales. El quinto escalón, ejemplificado con la Revolución Industrial, muestra el gran avance que significa la transformación del calor en movimiento (vapor), y la combinación mecánica de actividades sucesivas. El sexto escalón, representado por la revolución de los transportes del último tercio del siglo XIX, tiene como innovación central, primero al ferrocarril y el barco de vapor, y luego, con la utilización de los derivados del petróleo, el motor de combustión interna, y también la electricidad. El séptimo escalón muestra los comienzos de la objetivación de funciones que antes realizaba el intelecto humano: la reprogramación automática de tareas por parte de la máquina, con las primeras aplicaciones de los métodos de control numérico a la producción que ocurren en la década de 1950. El octavo escalón enseña un quiebre fundamental en el movimiento global. La informática y microelectrónica, la óptica y el satélite han permitido que una actividad que venía siendo realizada preferentemente por el propio cerebro se independice del mismo. Se trata del manejo de la información pasada en cantidad y velocidad, y su transmisión casi instantánea a cualquier lugar del globo terráqueo. Los modernos medios de comunicación satelital logran una escala espacial planetaria y una inmediatez que llevan a borrar las barreras geográficas en términos económicos para la transmisión de información (Foladori, 1990). El último escalón representa la revolución de la nanotecnología en curso; con la posibilidad de que la materia estructurada artificialmente reaccione de manera inteligente frente al entorno, con lo cual se objetivan funciones que antes desempeñaba la mente humana o la propia naturaleza.

A la derecha de la "escalera" –o debajo si se quiere–, quedan las funciones que antes eran desempeñadas por el propio cuerpo humano; luego independizadas al introducir entre el objeto de trabajo y el cuerpo biológico medios que objetivan la naturaleza y distancian su relación con el cuerpo.

Deben notarse tres implicaciones de este proceso. Primero, se incrementan tendencialmente los elementos objetivos del proceso de trabajo, haciendo la propia actividad humana cada vez menos necesaria, con consecuencias impactantes en la división social del trabajo. Segundo, cada fase en el proceso de objetivación del trabajo es también un proceso de "dominación" de la naturaleza externa, que conlleva el surgimiento de resultados imprevistos y no buscados que surgen al modificar determinadas relaciones –no siempre bien conocidas– de la naturaleza. Tercero, aumenta la posibilidad de la concentración social de los medios de producción y territorios o espacios naturales, convirtiendo a la

sociedad como un todo dependiente, de manera creciente, de quienes controlan dichos procesos de producción.<sup>4</sup>

El diagrama debe entenderse como un proceso contradictorio de liberación y sujeción. La humanidad puede verse liberada de sus necesidades inmediatas, aprovechando las ventajas de la acumulación histórica del conocimiento en medios de producción que potencian las actividades humanas, las hacen más productivas y más susceptibles de controlar la naturaleza externa para sus propios fines. Pero, la sociedad también puede verse sujeta al control de los medios materiales de producción por parte de sectores y clases sociales y, con ello, enfrentar a los que tienen con los que no tienen, objetivando los primeros el trabajo de los segundos. Es claro que es ésta la situación en que la humanidad se encuentra actualmente, con la majestuosa concentración de la riqueza social acumulada en manos de pocos, mientras que millones de personas no disponen de más medio de vida que la posibilidad de vender su capacidad de trabajo, en la medida en que exista dicha demanda. Sirva como ilustración el hecho de que la revista *Forbes* registraba, en 2004, 587 personas o familias con una fortuna de más de 1,000 millones de dólares; un riqueza que excedía, sumada, el producto bruto interno de los 170 países más pobres del mundo, o constituía el equivalente al 4 por ciento de la producción mundial anual (Chapman, 2004). Mientras, 1,100 millones de personas viven con menos de un dólar por día y son considerados “extremadamente pobres” por el Banco Mundial. De manera que no hay forma de analizar los cambios tecnológicos, y menos aún los que son resultado de tecnologías disruptivas, sin considerar al mismo tiempo el efecto sobre el empleo.

### **La evolución de los criterios de pertenencia social a la par de la objetivación de la naturaleza externa**

La distinción sociológica entre individuo y persona es importante para entender y analizar cómo la paulatina objetivación de la naturaleza y del trabajo humano

<sup>4</sup>La forma esquemática de la figura no permite expresar la riqueza que se encuentra detrás de estas tendencias. Es necesario hacer, por lo menos, dos importantes salvedades. La primera es que el esquema pareciera mostrar que la columna izquierda, correspondiente al diseño mental, se mantiene intocada hasta los últimos escalones. Esto no es así. En el segundo escalón ya podríamos hablar de cómo el lenguaje oral o el símbolo auditivo se constituyen en un mecanismo de objetivación. En el tercer escalón ocurre otro quiebre, con la aparición del símbolo gráfico, y su culminación en la escritura, cristalizando materialmente el lenguaje. La segunda salvedad tiene que ver con el haber acotado el esquema a un proceso individual de producción. No incluimos la incidencia de las relaciones sociales en la objetivación de la naturaleza que, por cierto, son significativas. De la misma manera que una generación hereda un nivel de desarrollo tecnológico dado y, de allí, también un nivel de objetivación de la naturaleza; al igual hereda un tipo de relaciones sociales determinadas, que se constituyen en barrera de futuras transformaciones, marcando una modalidad de comportamiento con la naturaleza.

fue transformando las formas de pertenencia social. Un individuo es un organismo biológico, una persona es un miembro de la sociedad. Cada sociedad establece diferentes mecanismos para reconocer a los individuos como personas y darles un lugar en la estructura social. Pocos ejemplos bastan para ilustrar estos cambios.

En muchas sociedades de caza y recolección, que existieron en la historia y pueden aún existir en reductos confinados, la pertenencia a la sociedad es resultado de una determinada estructura de parentesco y el acceso a la naturaleza externa está condicionado y posibilitado por dicha pertenencia. En estas sociedades, el reconocimiento de una persona es derivado de su ubicación en la estructura de parentesco. Esto significa que el sólo hecho del nacimiento en el seno de una comunidad garantiza su reconocimiento social, y su ubicación en la estructura social dependerá de las relaciones de parentesco a las que corresponda. Su pertenencia a la comunidad garantiza, también, una disposición *a priori* de los recursos naturales. Cuando un cazador caza una presa, su carne debe ser forzosamente distribuida entre la banda, de acuerdo con ciertas reglas socialmente preestablecidas. Esto ocurre porque la naturaleza –la presa– pertenece a la banda antes de ser cazada. Cualquier miembro de dicha banda tiene por derecho de nacimiento un lugar y una relación de pertenencia predeterminado con el territorio y sus productos.

La esclavitud generalizada de la antigüedad clásica establece los criterios de pertenencia a la sociedad según la propiedad de las personas, misma que era un resultado de la conquista militar de esclavos liderada por los ciudadanos libres. Los esclavos no eran personas, sino animales parlantes. Una vez que una comunidad o grupo era conquistado pasaba a ser esclavo por la propia naturaleza del acto militar y dejaba de ser considerado como persona, aunque siguiera siendo un individuo. Aristóteles escribió:

...es parte del plan de la naturaleza el hecho de que el arte de la guerra, de la cual la caza es parte, sea un modo de adquirir propiedad, y ese modo debe ser usado contra las bestias salvajes y contra los hombres que, por naturaleza, deben ser gobernados pero se recusan a eso, porque ese es el tipo de guerra que es justo por naturaleza (Aristóteles, 1999: 156).

En estas sociedades, el reconocimiento social dependía de la violencia física directa, que establecía la gran diferencia entre hombre libre y esclavo; y mientras los ciudadanos lo eran por su propia posición de fuerza militar, los esclavos eran valorados por su trabajo y de ello dependía su precio. La relación con el proceso de objetivación de la naturaleza externa es indiscutible. La esclavitud clásica no podría haberse desarrollado antes que la productividad del trabajo humano pudiese generar un excedente mayor a lo necesario para sobre-



vivir. Tampoco podría haberse generalizado sin armas de guerra que hiciesen de esta actividad algo productivo.

El servilismo feudal, por su parte, establecía la pertenencia a la sociedad y el lugar en la estructura social según la propiedad territorial. Los siervos pertenecían a la tierra, y eran vendidos junto con ella. O se era dueño o se era parte de las tierras, este era el criterio de reconocimiento social y de pertenencia a las comunidades. Cuando surgen los gremios en los poblados, la participación en ellos reproduce los cerrados criterios de territorialidad a partir de los oficios laborales.

Con el capitalismo, surge el trabajador asalariado, el individuo libre políticamente, pero sujeto estructuralmente a la necesidad de vender su capacidad de trabajo para poder sobrevivir. Es el triunfo del individualismo; del individuo despojado de toda riqueza material y lanzado al ruedo del mercado. Su conversión en persona dependerá del éxito que tenga en el mercado, el cual se erige en juez impersonal. La persona lo es en la medida en que sea comprador o vendedor de mercancías, incluyendo su propia capacidad de trabajo. La sociedad capitalista tuvo a la riqueza material, pero también al trabajo, como ideal de reconocimiento social. El trabajo asalariado, la forma más expandida de existencia social fue reconocida como imprescindible para la generación de la riqueza social y, por ello, adquirió un lugar en la sociedad y en el cielo protestante.

Pero, así como muchos productos no consiguen ser vendidos en el mercado y, por lo tanto, no satisfacen necesidad social alguna, los marginados, los desempleados, los que no consiguen integrarse al mercado laboral no tienen reconocimiento social. Tal vez sea el capitalismo la primera forma histórica de organización económica donde un sector de la población, los desempleados, no son reconocidos por la sociedad como necesarios. Sólo como resultado de luchas sociales, los trabajadores han obtenido, en algunos países, seguros de desempleo y con ello cierta garantía de sobrevivencia temporal. Pero, los millones de pobres del mundo, que hoy en día rebasan el tercio de la población mundial, si los consideramos según el criterio del Banco Mundial basado en recibir menos de dos dólares por día, son verdaderos parias.

Nótese que el instrumento de evaluación social en los cuatro casos es diferente: relaciones de parentesco, violencia física, propiedad territorial y mercado, respectivamente.

### **Las nanotecnologías disruptivas en el contexto capitalista y el futuro de la pertenencia social de los trabajadores**

¿Qué ofrecen los nanomateriales y nanodispositivos? La nanotecnología permitiría fabricar nuevos materiales con funciones también nuevas, que podrían

aplicarse en las más variadas ramas de la producción. Los potenciales beneficios de la nanotecnología son imposibles de calcular.

En el área de la salud, podría aumentar la calidad de vida y su duración. Nanosensores incorporados al propio organismo, y viajando como si fueran virus por la sangre, podrían detectar enfermedades antes que se expandan, y combatir las eficientemente. Las drogas no serían genéricas para cualquier persona, sino específicas según la composición genética individual, el sexo, la edad, el tipo de alimentación, etcétera. Podrían elaborarse prótesis moleculares que reparen o reemplacen partes defectuosas o enfermas de determinadas células. Nanorrobots podrían realizar cirugías y monitorear los procesos de recuperación. Nanoprótesis podrían extender las capacidades del cuerpo humano, potenciando capacidades cerebrales y motoras. Nanodispositivos permitirían la sensación virtual tal como si fuese real.

El campo de la energía puede verse rápidamente modificado. Semiconductores de cristal (*quantum dots*) permitirían potenciar el transporte y almacenamiento de la energía solar. Las nanopartículas de cristal podrían diluirse en la pintura de los edificios y las casas, capturando luz en una proporción varias veces superior a las actuales células fotovoltaicas. También la energía eólica se vería potenciada al hacer las aspas de los aerogeneradores más livianas y resistentes, aumentando su capacidad de captación de viento y abaratando costos. La energía extraída de la biomasa se potenciará con nanocatalizadores más eficientes y procedimientos de separación de gases. Se habla inclusive de mecanismos de almacenamiento de hidrógeno mediante nanocélulas de carbono. Y no sólo la producción, sino también el consumo de la energía se verían impactados por una mayor eficiencia.

Otro resultado con fuerte impacto en escala mundial serían los mecanismos de purificación y reciclado del agua. Filtros físicos con poros de escala nanométrica podrían eliminar bacterias, virus y *prions* (proteínas que causan enfermedades). Nanodispositivos podrían detectar y eliminar sales y metales pesados. Se podrían utilizar bacterias creadas especialmente para consumir contaminantes. Los dispositivos nanotecnológicos de purificación de agua podrían autolimpiarse y funcionar de manera completamente automática.

La industria de la computación y las comunicaciones será una de las primeras y más fuertemente impactadas. Una de las líneas de investigación pretende comunicación óptica de alta velocidad utilizando ruteadores que podrían enviar y recibir 100 terabits de información por segundo (equivale a enviar toda la biblioteca del Congreso de los Estados Unidos en un segundo).

Muchos otros productos podrían adquirir funciones nuevas que ridiculicen la eficiencia de sus competidores convencionales, como es el caso de los vidrios que se auto-limpian del polvo, la lluvia o la nieve, por estar cubiertos de

nanopartículas de óxido de titanio que, estimuladas por la luz solar, expelen las adherencias.

Es claro que la aplicación de nanopartículas con propiedades físicas nuevas revolucionará todas las industrias y la agricultura. La demanda de materias primas podría disminuir significativamente en la medida en que algunas de ellas se sustituyan por nanocomponentes como, por ejemplo, el hierro y el acero por nanotubos de carbón y el silicio por nanocristales. En el caso de materiales de origen mineral se reduciría la actividad minera y, con ello, la contaminación; también disminuirían las alteraciones topográficas y el movimiento de tierras que la minería implica. La agricultura se podría ver beneficiada con la aplicación de mecanismos de reciclado del agua, de energías alternativas baratas y de distribución computarizada de insumos a las plantas. El paso a una agricultura totalmente industrial en el sentido de que no esté sujeta ni a la fertilidad natural ni a las variaciones climáticas sería posible. La producción industrial podría reducir sus efectos contaminantes con la utilización de energías limpias, el uso más eficiente de los materiales, la generación de menor cantidad de residuos, mismos que podrían ser controlados.

Algunos productos con nanocomponentes ya están en el mercado y dan una idea más tangible y real de los avances actuales. Según el *Nanotech Report* (*Forbes*, 2004), entre los primeros productos vendidos en el 2004 se encuentran: calzado térmico (Aspen Aeogels), colchones que repelen sudor y polvo (Simmons Bedding Co.), palos de golf más resistentes y flexibles (Maruman & Co.), cosméticos personales ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Bionova), vestidos para heridos y quemados que evitan las infecciones (Westaim Corporation), desinfectantes y limpiadores que se aplican a aviones, barcos, submarinos, etcétera. (EnviroSystems), aerosoles que repelen agua y suciedad, utilizados en la industria de la construcción (BASF), tratamiento a los vidrios para repeler el agua, la nieve, insectos, etcétera. (Nanofilm), crema contra el dolor muscular (CNBC) y adhesivos dentales que fijan mejor las coronas (3M ESPE).

Pero, lo más impactante será cuando se consiga ensamblar moléculas de forma espontánea, mediante mecanismos biológicos o híbridos que repliquen diseños. En ese momento, la producción de nanomáquinas a escala industrial será una realidad, y el impacto como tecnología disruptiva se acelerará considerablemente.<sup>5</sup>

Visto así, las nanotecnologías significarían una revolución en la objetivación de la naturaleza externa sin precedentes en la historia pasada de la huma-

<sup>5</sup>Por ejemplo, "...investigadores del MIT y la Universidad Virginia Commonwealth de los Estados Unidos creen que la nueva técnica de impresión supramolecular podría permitir la fabricación masiva de nanoaparatos. Su método utiliza hibridación ADN para replicar un diseño y tiene una resolución de menos de 40 nanómetros" (Euroresidentes..., 2005).

nidad. Es claro que los procesos no son tan simples, y existe preocupación en relación con los impactos y riesgos no previstos tanto en el medio ambiente como en la salud. También hay preocupaciones éticas, ya que estas tecnologías bien pueden ser utilizadas para una mayor vigilancia y control de las personas, o en instrumentales de guerra insospechados, o en la hibridación del cuerpo biológico creando seres biónicos. Aquí nos concentraremos en reflexionar sobre los efectos que pueda tener el avance de la nanotecnología en el criterio de pertenencia social del ser humano.

La anterior revolución tecnológica, a partir de la década de 1970, constituye un antecedente cercano que ilustra sobre la probable incidencia disruptiva de la nanotecnología en el proceso de reconocimiento social. La globalización o internacionalización de la economía mundial, que se agudizó espectacularmente en las últimas dos décadas del siglo xx, aceleró la diferenciación social, tanto a nivel de países como al interior de los mismos (Wade, 2004, 2001). Estos cambios se apoyaron en la revolución tecnológica de la optomicroelectrónica, la computación y el satélite, que modificaron los procesos productivos con la automatización y también los medios de almacenamiento y procesamiento de información y las telecomunicaciones. Estas tecnologías permitieron una fuerte reorganización de la producción capitalista, con aumentos de la productividad y las ganancias, pero al mismo tiempo surgieron nuevas formas de marginalidad y degradación humana. Veamos algunos indicadores:

- La *esperanza de vida* ha aumentado como promedio en todos los países durante los noventa, pero la *diferencia entre países* ha crecido aún más (World Bank, 2004a, 2004b).<sup>6</sup>
- La *pobreza absoluta* (menos de un dólar al día) ha disminuido desde 1990, pero la *desigualdad* ha aumentado, creciendo el cuartil de menos ingresos (World Bank, 2004a, 2004b; Wade, 2001).
- Se espera que 60 millones de personas *migren* del África Subsahariana en la próxima década debido a la desertificación (UNCCD, 2004).
- Las *personas que viven con VIH/SIDA* alcanzan 40 millones, más del 90 por ciento en África (ONUSIDA-OMS, 2003).
- Dos millones de personas mueren anualmente de *malaria*, la mayoría niños; y 5000 personas mueren por día de *tuberculosis* (USAID, 2004; Medicines Sans Frontieres, 2003).

<sup>6</sup>Es posible que en la próxima década la esperanza de vida caiga como promedio mundial, por la pandemia del SIDA en India y China. En el África Subsahariana disminuyó en la última década como resultado de la pandemia del SIDA (World Bank, 2004a).

Si hay algún común denominador en estos datos es *desigualdad*. El mundo contemporáneo lleva ya cerca de 30 años de prueba de nuevas tecnologías en el contexto del capitalismo globalizado. Ha probado extensamente la biotecnología, la microelectrónica, la computación y el satélite. El resultado ha sido doble: mayor concentración de la riqueza y menor necesidad de actividad física humana para producir.

Una consecuencia de esta tendencia a absorber cada vez menos trabajo asalariado en relación al capital físico, que se intensifica a partir de los años 1980, es la ampliación del trabajo redundante. Con altos niveles de desempleo y exclusión, el mercado ya no funciona como juez de la pertenencia social de las personas, simplemente porque la demanda de fuerza de trabajo se contrae en muchos países, particularmente en aquellos llamados en desarrollo. Como un agudo historiador señaló, el mundo contemporáneo ya no se espanta como antes con el incremento de la desocupación y la pobreza,

...el contraste entre excedentes de alimentos de un lado y gente hambrienta de otro, que tanto alteró al mundo durante la Gran Depresión de la década de 1930, causó menos comentarios a fines del siglo xx. Fue un aspecto de la creciente divergencia entre el mundo rico y el mundo pobre que se tornó cada vez más evidente a partir de la década de 1960 (Hobsbawm, 1995: 256).

La humanidad se encuentra atrapada en el siguiente dilema: de un lado, se piensa que profundizar en ciencia y tecnología solucionará muchos de sus problemas. La nanotecnología se presenta, en este contexto, como una tecnología con gran potencial de beneficios. De otro lado, la experiencia histórica de las últimas tres décadas, caracterizadas por una revolución tecnológica de gran calibre, demostró que nuevas tecnologías, insertadas en un capitalismo cada vez más globalizado, no beneficiaron a la humanidad en su conjunto sino que, de hecho, la desigualdad ha aumentado. Surge, además, una tercera faceta: el trabajo asalariado, que durante casi 200 años de desarrollo capitalista fue un criterio de pertenencia a la sociedad y un ideal de estimación humana para las personas, tiende a convertirse en superfluo, innecesario para la generación de la riqueza y como medio de vida.

Cuando surgió la burguesía en la edad moderna vanaglorió el *neg-ocio* como sentido de la vida, o sea la negación del ocio que alardeaban las clases terratenientes y feudales, y reivindicó el trabajo. Cuando los nanoutópicos vanaglorian los autoensambladores, no ofrecen ninguna alternativa de vida a los millones de trabajadores y desempleados del mundo. Consideremos el informe del Proyecto Milenio de las Naciones Unidas denominado *Innovación, aplicando el co-*

*nocimiento al desarrollo* (2005). En el apartado dedicado a la nanotecnología leemos: “Es posible que la nanotecnología sea particularmente importante en el mundo en desarrollo, porque requiere poco trabajo, tierra, o mantenimiento; es altamente productiva y barata; y sólo requiere de modestas cantidades de materiales y energía” (Juma y Yee-Cheong, 2005: 70). Pero resulta que el más serio problema de los países en desarrollo es el desempleo. Introduciendo nanotecnologías que requieran aún menos trabajo en los procesos de producción y mantenimiento se incrementará el desempleo. ¿Qué alternativa se ofrece a este problema, intrínsecamente vinculados a la introducción de tecnologías disruptivas? ¡A la fecha, ninguna!

La nanotecnología abarca áreas muy diversas. Aquellas que tienen que ver con incrementar la capacidad de procesamiento, almacenamiento y velocidad de transmisión de información profundizarán las tendencias ya iniciadas por la computación y las telecomunicaciones en los sectores productivos y de servicios en últimos años. No obstante que las trayectorias tecnológicas en estas ramas de la producción sean diferentes con la nanotecnología, desde el punto de vista social no hay argumento para pensar que provocarán un efecto distinto revertiendo, por ejemplo, el proceso de diferenciación social y de concentración de la riqueza mundial.

Otras nanotecnologías permiten hacer los objetos e instrumentos más sensibles al entorno, o capaces de transformar el entorno de acuerdo con sus necesidades o, aún, capaces de utilizar elementos del entorno de forma novedosa o más eficientemente que otras tecnologías. La sensibilidad al medio y la respuesta inteligente es la característica común. Esto se aplica a la salud con la distribución de medicinas directamente a las células enfermas, a los métodos de captación de energía, a la purificación del agua, a los nanocomponentes en la ropa, en las viviendas y en los medios de transporte, etcétera. Esta característica de mayor sensibilidad y respuesta inteligente frente al entorno permitiría suprimir muchos de los costos derivados de las desventajas naturales de fertilidad. Así, por ejemplo, la aplicación de nanosensores a la producción agrícola podría hacer que explotaciones en áreas menos húmedas o menos fértiles compitan ventajosamente con las más fértiles mediante la administración eficiente de insumos. La revolución de la nanotecnología constituye un avance en el control de la naturaleza externa por el ser humano, y en la objetivación de la naturaleza, que reduce las diferencias de fertilidad natural en los procesos productivos y los hace depender más de diferencias basadas en la riqueza acumulada. Esto podría tener efectos devastadores sobre muchas economías mundiales. Como lo señaló el director del grupo ETC, Pat Mooney, el mundo desarrollado podría crear su propio abastecimiento de materias primas, con enormes implicaciones para la industria y agricultura de los países pobres (Mantell, 2003).

Otras nanotecnologías resultarán en nuevos materiales. El caso más extendido es el de los nanotubos de carbono, uno de los principales productos comercializados hoy en día. Éstos son más duros que el diamante y entre 50 y 100 veces más fuertes que el acero. Debido a sus propiedades físicas eléctricas, térmicas, de resistencia y otras en investigación, este tipo de producto está llamado a competir ventajosamente con los materiales que actualmente se utilizan para producir productos semejantes. Los nanotubos de carbono hoy se venden para cumplir funciones tan diversas como resistencia en materiales, electromagnetismo, almacenamiento de energía, almacenamiento de hidrógeno, etcétera. Supongamos que se consigue construir nanomáquinas replicadoras que puedan crear nanotubos de carbono en cantidades industriales. Supongamos que se sustituye el acero por nanotubos de carbono o nanocristales de diversos metales y sean aplicados a las más variadas industrias. ¿Qué impactos tendría esto? Si la nanotecnología redujera la demanda de materias primas, disminuiría, con ello, la renta diferencial que obtienen muchos países en vías de desarrollo con las exportaciones de minerales, hidrocarburos, frutas, carne, madera, fibras textiles, etcétera.

En cualquier caso, se trata de tecnologías que tendrán un impacto devastador en el empleo.<sup>7</sup> El problema no es pretender, como los ludditas, acabar con la innovación tecnológica, sino encarar el impacto de estos cambios en la sociedad antes que se vuelvan irreversibles. Esto no se logra suponiendo que la tecnología es independiente de la sociedad y puede usarse en un sentido u otro; tampoco creyendo que si los países pobres crean centros de nanotecnología solucionarán sus problemas (Court *et al.*, 2004; Salamanca-Buentello *et al.*, 2005). La tecnología y las relaciones sociales no son átomos separados de la sociedad que pueden pegarse de una u otra forma como se hace al formar nanoproducidos; son expresiones complejas que desarrollan sinergias de coevolución difíciles de modificar voluntariamente. Por ello, es imprescindible que las políticas públicas sobre nanotecnología comiencen a considerar conjuntamente las políticas de empleo. Para los países en desarrollo esto es un reto insoslayable.

Si las tendencias actuales a desplazar trabajo continúan profundizándose con la revolución nanotecnológica, ¿qué alternativas de pertenencia a la sociedad hay para millones de individuos? Es preciso pensar en ello. En realidad, en parte, esto ya se está haciendo, pero desde una perspectiva lamentable. Desde principios de los años noventa se ha estado impulsando un nuevo mecanismo de reconocimiento social: la caridad, o filantropía como la llaman sus propios voceros. En las Naciones Unidas esto se ha convertido en la política por exce-

<sup>7</sup>Inclusive en el empleo especializado. En el área biomédica muchos empleos de laboratorio serán desplazados por los *lab-on-a-chip*, y posiblemente muchos médicos también.

lencia. La forma que adopta son las Asociaciones Público-Privado (Public-Private-Partnerships, PPP). Las PPP son organizaciones sin fines de lucro, que reúnen a ONG, a miembros de la sociedad civil, pero principalmente a instituciones filantrópicas, instituciones públicas nacionales e internacionales y corporaciones multinacionales. Las PPP son alternativas humanitarias basadas en la confianza mutua entre los tres principales actores: las corporaciones multinacionales, las instituciones caritativas o filantrópicas, y las instituciones públicas. La idea fuerza es que los ricos deben, caritativamente, “alimentar”, o “mejorar las condiciones sanitarias o de salud” de los pobres. Existen diversas propuestas en este sentido, muchas de ellas en el área de la salud.<sup>8</sup> Estas formas de asistencialismo, que hoy constituyen una de las políticas dominantes para resolver los problemas de la pobreza y el desarrollo no se sustentan, por cierto, en ninguna discusión de las tendencias económicas que conllevan la desaparición del trabajo asalariado como forma generalizada de reconocimiento social, ni la concentración exacerbada de la riqueza mundial, ni sugieren la necesidad de reestructurar las relaciones sociales para que la pertenencia de las personas a la sociedad y su acceso a una parcela de la riqueza social tengan bases dignas, y no dependan de la filantropía.

Es preocupante observar que ya se plantean soluciones de este tipo asociadas a la irrupción de la nanotecnología. Investigadores del Joint Center for Bioethics de la Universidad de Toronto propusieron la creación de una iniciativa mundial (Addressing Global Challenges Using Nanotechnology) para acelerar el uso de la nanotecnología en áreas que sean críticas para enfrentar los retos del desarrollo sustentable. Este modelo estaría basado en la existente PPP entre los National Institutes of Health de los Estados Unidos y la Fundación Bill y Melinda Gates (Salamanca-Buentello *et al.*, 2005).<sup>9</sup> La propuesta condice con la idea de Naciones Unidas anotada más arriba de utilizar la nanotecnología como alternativa para alcanzar los objetivos del milenio. Los autores identificaron las 10 principales nanotecnologías que podrían signifi-

<sup>8</sup> Por ejemplo, el director de la Comisión en Macroeconomía y Salud de la Organización Mundial de la Salud defendió este tipo de iniciativas en la segunda consulta global a la comisión, frente a cientos de altos funcionarios de diferentes gobiernos y ministros de Finanzas y Planificación de 40 países, reunión organizada por la Organización Mundial de la Salud, el Fondo Monetario Internacional, el Banco Mundial y, elocuentemente, también por la fundación Bill y Melinda Gates (Sachs, 2003). La propia eficacia de estas PPPs para resolver sus objetivos es ampliamente discutible (Richter, 2004, 2003; Foladori, 2003; Yamey, 2002, 2001; Hardon, 2001; Walt, 2000; Hancock, 1998).

<sup>9</sup> La Fundación para los National Institutes of Health fue establecida por el Congreso de los Estados Unidos para apoyar la misión de los National Institutes of Health (NIH) en mejorar la salud mediante el descubrimiento científico. La fundación de las NIH identifica y desarrolla oportunidades para asociaciones público-privadas [public private partnerships] innovadoras que incorporen la industria, la academia y la comunidad filantrópica. Una corporación sin fines de lucro, la fundación recoge fondos del sector privado para un amplio portafolio de programas únicos que complementan y potencian las prioridades y actividades de las NIH (Fundation for the National Institutes of Health, s/f).



car una solución a problemas que van desde el agua potable, agricultura, nutrición, salud, energía y medio ambiente. Llena de buenas intenciones, la propuesta refleja una actitud inocente frente al lugar que tiene la tecnología y la ciencia en la sociedad.

## Conclusiones

Dada la experiencia de las últimas décadas en estudios de impacto y riesgo ambiental y sobre la salud, existe la tendencia por parte de las ciencias sociales a considerar las nanotecnologías en términos de riesgo. Aunque esta sea un área importante, existe otro aspecto no menos impactante que debe atenderse: se trata de los efectos que las nanotecnologías puedan tener al insertarse dentro de las tendencias macroeconómicas prevalecientes. El caso es preocupante debido a que en los últimos 30 años el mundo globalizado ha experimentado nuevas tecnologías de gran impacto, como fueron la optomicroelectrónica y el satélite, las biotecnologías y la computación. Aunque estas tecnologías tuvieron efectos importantes en muchas áreas del desarrollo humano, incluyendo la salud, no por ello los resultados modificaron el curso de los acontecimientos en lo que se refiere al proceso de diferenciación social y empobrecimiento. Es probable, inclusive, que dichas tecnologías ayudaran a la concentración de la riqueza mundial, al facilitar los flujos de capital. Frente a esta experiencia reciente, ¿qué puede esperarse de la nanotecnología? Muchos ven estas tecnologías como un bisturí neutro, que cortará de raíz los problemas sociales. Este es el caso de quienes consideran que los Objetivos del Milenio de las Naciones Unidas podrán ser alcanzados con el apoyo de las nanotecnologías. Pero, la experiencia histórica no sustenta esa forma de pensar las tecnologías aisladas de las relaciones económicas en el seno de las cuales surgieron.

Existe, además, otro aspecto no menos preocupante. Éste tiene que ver con el futuro del trabajo como esfera de actividad humana socialmente reconocida. Si, como las nanotecnologías prometen, los mecanismos artificiales y bioartificiales sustituyen actividades humanas, el desempleo podrá crecer estrepitosamente. No existe una discusión pública que relacione directamente la posibilidad de implantación de las nuevas tecnologías con el futuro de millones de personas que aún hoy en día sobreviven de la venta de su capacidad de trabajo. Es hora de que los gobiernos coloquen en discusión los efectos de las nanotecnologías, no solamente en cuanto a sus riesgos ambientales y sobre la salud, sino también en cuanto a sus efectos sobre las tendencias macroeconómicas, y que desarrollen programas paralelos de compensación social allí donde sean previsibles interrupciones abruptas.

## Bibliografía

- ALTMANN, Mark Jurgen y Gubrud, (2004), "Anticipating Military Nanotechnology", *IEEE Technology and Society Magazine*, número editado por E.J. Woodhouse, 23 (4), pp. 33-40.
- ARISTÓTELES (s/f), *Poética, Organon, Política, Constituição de Atenas*, São Paulo, Nova Cultural.
- BAKER, Stephen y Adam Aston (2005), "The Business of Nanotech", *Business Week*, 14 de febrero.
- BECK, Benjamin (1980), *Animal Tool Behaviour*. New Cork, Garland.
- BENNETT, Michael (2004), "Does existing law fail to address Nanotechnoscience?", *IEEE Technology and Society Magazine*, número editado por E.J. Woodhouse. 23 (4), pp. 27-325.
- CEPAL (2004), *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, CEPAL.
- CHAPMAN, Jamie (2004), "Forbes report: Billionaires' wealth grew by 36 percent in last year", World Socialist Website. <http://www.wsws.org/articles/2004/mar2004/forb-m09.shtml> Consultado el 20 de junio de 2005.
- COURT, E., A.S. Daar, E. Martin, T. Acharya y P.A. Singer (2004), *Will Prince Charles et al diminish the opportunities of developing countries in nanotechnology?* NANOTECHWEB.ORG CRN (Center for Responsible Nanotechnology) (s/f). "Dangers of Molecular Manufacturing", <http://www.crnano.org/dangers.htm> Consultado el 20 de junio de 2005.
- EUORRESIDENTES AVANCES EN NANOTECNOLOGÍA (2005), "Nanotecnología y medicina: impresión de ADN", *Avances en nanotecnología*, 13 de junio de 2005. [http://www.euroresidentes.com/Blogs/nanotecnologia/archivos/2005\\_06\\_12\\_archive.html](http://www.euroresidentes.com/Blogs/nanotecnologia/archivos/2005_06_12_archive.html) Consultado el 25 de junio de 2005.
- FOLADORI, Guillermo (1990), *Los medios en la acumulación de capital*, Montevideo, Ediciones de la Banda Oriental.
- (2003), "Can PPPs in Health cope with social needs?", *Knowledge Flows, Innovation, and Learning in Developing Countries*. 1 (3), Washington D.C., [http://www.cspo.org/home/cspondeas/know\\_flows/Rock-Vol1-3.PDF](http://www.cspo.org/home/cspondeas/know_flows/Rock-Vol1-3.PDF) Consultado el 5 de junio de 2005.
- FORBES (2004), *Nanotech Report*, 3 (12), pp. 1-3. [www.forbesnanotech.com](http://www.forbesnanotech.com)
- FOUNDATION FOR THE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH (s/f), Overview, <http://www.fnih.org/aboutus/aboutus.shtml> Consultado el 10 de junio de 2005.
- GIBSON, Kathleen (1991), "Tools, Language and Intelligence: Evolutionary Implications", *Man* (26) 2.
- HANCOCK, T. (1998), "Caveat partner: reflections on partnership with the private sector", *Health Promotion International*, 13 (3), pp. 193-195.

- HARDON, A. (2001), "Immunization for all? A critical look at the first GAVI partners meeting", *HAI-Lights. Hai Europe*, 6 (1). [www.haiweb.org/pubs/hailights/mar2001/mar01\\_lead.html](http://www.haiweb.org/pubs/hailights/mar2001/mar01_lead.html) Consultado el 30 de diciembre de 2002.
- HOBBSAWM, Eric (1995), *Era dos extremos. O breve século XX, 1914-1991*, São Paulo, Companhia Das Letras.
- INGOLD, Tim (1986), *The Appropriation of Nature. Essays on Human Ecology and Social Relations*, Manchester, Manchester University Press.
- JUMA, Calestous y Lee Yee-Cheong (coord.), (2005), *Innovation: applying knowledge in development*. Londres, Sterling, Va, UN Millennium Project, Task Force on Science, Technology, and Innovation, Earthscan.
- KOSIK, Karel (1989), *Dialética do concreto*, Río de Janeiro, Paz e Terra.
- MANTELL, Katie (2003), "Developing nations «must wise up to nanotechnology».", *SciDev.Net*, 4 de septiembre. <http://www.scidev.net/News/index.cfm?fuseaction=readNews&itemid=992&language=1>. Consultado el 12 de febrero de 2005.
- MEDICINES SANS FRONTIERES (2003), "Seven million die each year from aids, tb and malaria Most of these people live in developing countries", [Http://www.msf.org.au/advocacy/globalfund/](http://www.msf.org.au/advocacy/globalfund/) Consultado el 16 de agosto de 2004.
- MERIDIAN INSTITUTE (2005), *Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks*, [www.nanoandthepoor.org](http://www.nanoandthepoor.org)
- ONUSIDA-OMS (Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH-SIDA, Organización Mundial de la Salud) (2003), *Situación de la epidemia de SIDA*.
- RICHTER, Judith (2003), "«We the Peoples» or «We the Corporations»? Critical reflections on UN-business «partnerships»", IBFAN-GIFA, [www.ibfan.org](http://www.ibfan.org) [www.gifa.org](http://www.gifa.org) Consultado el 23 de febrero de 2003.
- (2004), "Public-Private Partnerships for Health: A trend with no alternatives?", *Development*, 47 (2), pp. 43-48.
- RSYRAE (Royal Society y The Royal Academy of Engineering) (2004), *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainty*, Londres, The Royal Society y The Royal Academy of Engineering, [www.royalsoc.ac.uk/policy](http://www.royalsoc.ac.uk/policy) [www.raeng.org.uk](http://www.raeng.org.uk) Consultado el 12 de febrero de 2005.
- SACHS, Jeffrey (2003), "Achieving the Millennium Development Goals: Health in the Developing World", Speech at the Second Global Consultation of the Commission on Macroeconomics and Health, Génova, 29 de octubre. [http://www.who.int/macrohealth/infocentre/speeches/en/sachs\\_speech.pdf](http://www.who.int/macrohealth/infocentre/speeches/en/sachs_speech.pdf) Consultado el 7 de marzo de 2003.
- SALAMANCA-BUENTELLO, F., D.L. Persad, E.B. Court, D.K. Martin, A.S. Daar y P. Singer, (2005), "Nanotechnology and the Developing World", *PLoS Medicine*, 2 (5), pp. 0100-0103.

- UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification) (2004), *Ten years on: One decade of combat desertification*, UN Marks World Day to Combat Desertification. Observances worldwide on June 17, 2004. <http://www.unccd.int/publicinfo/menu.php> Consultado el 16 de agosto de 2004.
- USAID (2004), *The Global Burden of Tuberculosis (TB)*. [http://www.usaid.gov/our\\_work/global\\_health/id/tuberculosis/burden.html](http://www.usaid.gov/our_work/global_health/id/tuberculosis/burden.html) Consultado el 16 de agosto de 2004.
- WADE, Robert Hunter (2001), "The Rising Inequality of World Income Distribution", *Finance and Development*, 38 (4).
- (2004), "Is Globalization Reducing Poverty and Inequality?", *International Journal of Health Services*, 34 (3), pp. 381-414.
- WALT, G. (2000), "Public Private Partnerships. Addressing Public Health Needs or Corporate Agendas?", *Report on the HAI Europe/BUKO Pharma-Kampagne Seminar*, HAI, Europe, 3 de noviembre, [www.haiweb.org/campaign/PPI/seminar200011.html](http://www.haiweb.org/campaign/PPI/seminar200011.html) Consultado el 23 de febrero de 2003.
- WORLD BANK (2004a), "PovertyNet. Social Indicators", 2004, <http://www.worldbank.org/poverty/data/trends/mort.htm#table9> Consultado el 16 de agosto de 2004.
- (2004b), "Global Poverty Down By Half Since 1981 But Progress Uneven As Economic Growth Eludes Many Countries", *News Release* núm: 2004/309/S, <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/NEWS/0%2C%2CcontentMDK:20194973~menuPK:34463~pagePK:64003015~piPK:64003012~theSitePK:4607%2C00>. Consultado el 16 de agosto de 2004.
- YAMEY, Gavin (2001), "Global campaign to eradicate malaria", *British Medical Journal*, 322, pp. 1191-1192.
- (2002), "The world's most neglected diseases", *British Medical Journal*, 325, pp. 176-177.
- YONAS, G. y S.T. Picraux (2001), "National Needs Drivers for Nanotechnology" en M.C. Roco y W.S. Bainbridge, (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, (Final Report from the Workshop held at the National Science Foundation), 28-29 de septiembre de 2000, pp. 37-44, <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.

## ¿Dos culturas de la nanotecnología?\*

Bernadette Bensaude-Vincent

### Introducción

EN LOS últimos 10 años, el exitoso volumen de Eric Drexler, *Engines of Creation* (1986) y los debates generados por sus visiones futuristas han sobresalido al llamar la atención pública hacia la nanotecnología. La mayor parte de los científicos activos en el campo piensan que se dedica demasiada atención a este debate y tratan de que sus propios programas “serios” de investigación no se asocien con el poco realista escenario de Drexler. Al menos el rechazo de la retórica de Drexler actúa como un principio unificador de una población de científicos involucrada en las nanoiniciativas, que en otros sentidos es bastante heterogénea.

No obstante, como sucede con muchas controversias en la ciencia, el debate en torno a los ensambladores universales de Drexler y su gris y pegajoso escenario han sido extremadamente benéficos en la medida en que han ayudado a clarificar las suposiciones filosóficas que subyacen a los proyectos de la nanociencia.<sup>1</sup>

Sin afirmar que el futuro de la nanotecnología dependa de esos debates, argumento que ilumina al público en cuanto a las raíces y los proyectos culturales de los nanocientíficos y los ingenieros. A este respecto es igualmente importante señalar las convergencias y divergencias entre Drexler y sus seguidores por un lado, y los químicos como Richard Smalley y George Whitesides, quienes criticaron las visiones de Drexler sobre los ensambladores universales, por el otro.

Drexler y sus opositores comparten un interés común en los sistemas biológicos. Ya en la legendaria profecía de Richard Feynman, existía una fugaz referencia al material biológico, en donde enormes cantidades de información podrían almacenarse en espacios exquisitamente pequeños. Desde 1959 y en

\*“Two Cultures of Nanotechnology?” Traducción del inglés por Luis Rodolfo Morán Quiroz.

<sup>1</sup>Una fuente primordial de esta controversia es el número especial de *Scientific American*, de septiembre de 2001. Véase también la correspondencia entre Richard Smalley y Eric Drexler, disponible en la página de Internet del Foresight Institute, *Chemical and Engineering News*, 81 (48), 1o. de diciembre de 2003, pp. 37-42.

los inicios de la biología molecular, los químicos, los científicos y los ingenieros de la materia han intensificado y diversificado sus referencias a la biología aún antes de que se acuñara el término “nanotecnología”. Las bioinspiraciones prevalecieron cuando la aproximación “de abajo hacia arriba”, el diseño de estructuras de una molécula por vez (en vez de átomo en átomo) se convirtió en uno de los principales objetivos de la nanotecnología. En contraste con las estructuras usualmente diseñadas por los ingenieros en el nivel macro, los biomateriales son construidos desde abajo hacia arriba. La vida opera uniendo átomos o grupos de átomos en vez de generar una estructura a partir de materias primas. La convergencia de las nanotecnologías con las biotecnologías se basa en la afirmación de que “bio es nano”, que los biomateriales están estructurados desde abajo.

No es mi propósito discutir la validez de tales afirmaciones por medio de la comparación de las estructuras de la naturaleza y los intentos biomiméticos de los nanocientíficos (véase Ball, 2002). En cambio, me gustaría enfatizar que el debate acerca de las potencialidades de la nanotecnología se reduce básicamente a la pregunta “¿qué es una nanomáquina?”. No obstante, la noción de máquina es polisémica en sí misma, de modo que puede apoyar visiones disímiles de los sistemas vivientes y enseñar lecciones bastante diferentes a los nanocientíficos e ingenieros.

### La máquina: una metáfora que todo lo permea

En las últimas décadas, la metáfora de la máquina ha invadido el lenguaje de los biólogos. En las primeras épocas de la biología molecular, esas metáforas se utilizaban exclusivamente para la transcripción y traducción del ADN. En la actualidad, cada entidad activa en la célula se describe como una máquina: los ribosomas son líneas de ensamblaje, las ATP sintasas son motores, las polimerasas son máquinas copiadoras, las proteasas y los proteosomas son *bulldozers*, las membranas son cercas eléctricas y así sucesivamente (Godsell, 2003; Zhang, 2003). Aunque por lo general los biólogos están de acuerdo en que los sistemas vivientes son producto de la evolución más que de un diseño, los describen como aparatos diseñados para tareas específicas. Efectivamente, si la biología puede enseñarnos algo acerca de la ingeniería y la manufactura es porque la célula viviente se ve ahora como una fábrica poblada de numerosas biomáquinas en acción.

Al mismo tiempo, en la química y en la ciencia de materiales, las metáforas de la máquina también se han tornado prominentes. Un objetivo primordial de los programas de nanotecnología es construir nanomáquinas que realicen un mejor trabajo que las máquinas convencionales. Mientras buscan diseñar materiales funcionales, los físicos y químicos redefinen ágilmente el producto que di-

señan como máquinas: moléculas de arado, moléculas de soporte, resortes e interruptores son especímenes de los inventos comúnmente reportados en las publicaciones de materiales.

De tal modo, los lenguajes de la biología molecular y de la ciencia de materiales convergen de manera notable en un flujo de metáforas de la máquina. Por medio de un proceso continuo de transferencia mutua de conceptos e imágenes, han construido un paradigma común basado en una visión artificial de la naturaleza. La naturaleza está poblada con nanomáquinas que la tecnología humana debería ser capaz de imitar e incluso superar.

Drexler y otros defensores de la nanorrevolución encuentran en la biología molecular básicamente una respuesta a todos los nanoescépticos. Los datos de la biología molecular constituyen un argumento central acerca de la factibilidad de la nanofabricación:<sup>2</sup>

Podría dudarse de que las nanomáquinas artificiales pudieran siquiera equiparar las habilidades de las nanomáquinas en la célula, si hubiera razón para pensar que las células contuvieran alguna magia especial que las hiciera funcionar. Esto se llama vitalismo. Los biólogos lo han abandonado porque encontraron explicaciones químicas y físicas para cada aspecto de las células vivientes estudiadas hasta el momento, incluido su movimiento, crecimiento y reproducción (Drexler, 1986: 17).

Drexler rejuveneció así la cruzada positivista decimonónica de los químicos sintéticos como Marcellin Berthelot en contra de los límites impuestos por la superstición o por la creencia metafísica en una fuerza vital. La existencia misma de la vida es la prueba de que las nanomáquinas son factibles según Marvin Minsky del laboratorio de medios del MIT y del AI Lab:<sup>3</sup>

Parece bastante extraño que alguien argumente que no puedes construir una maquinaria poderosa (pero microscópica) –considerando que nuestras células mismas prueban que efectivamente puede existir ese tipo de máquinas. Y luego si ves dentro de tus células encontrarás máquinas más pequeñas que causan enfermedades. La mayor parte de los argumentos en contra de las nanotecnologías son argumentos en contra de la vida misma.

<sup>2</sup>Véase también el comentario planteado por Lenester en *Mind X* (04/17/2003) acerca de "An open letter to Richard Smalley" escrito por Drexler ([www.kurzweilai.net/meme/frame.html](http://www.kurzweilai.net/meme/frame.html)): La idea misma de que algo que claramente se hace en la naturaleza no pueda ser hecho también por nosotros, se opone al más fundamental espíritu de la ciencia. Se remonta a una época de descripciones mágicas, lo que deja implícito que hay alguna sustancia mística que está más allá del alcance mortal de nuestro conocimiento.

<sup>3</sup>Minsky, 1995, p. 193; Rietman, 2001, p. 2.

Con esta cita queda claro que la vida proporciona más que una simple invitación a construir nanomáquinas; constituye más bien un imperativo. La vida es una fuente de creatividad, una legitimación de la empresa al igual que una razón para creer en su futuro.

En la visión de Drexler, la nanotecnología es “manufactura molecular”. La noción de ingeniería molecular no es nada novedosa. Ya en la década de los cincuenta el término se utilizaba por parte de varios científicos que trabajaban en la promoción de la ciencia de materiales y en la ingeniería (CMI) en las universidades estadounidenses. Antes de que se adoptara la etiqueta de “departamento de CMI” (*MSE department; materials science and engineering*), a esta nueva rama se le denominaba “ingeniería molecular”.<sup>4</sup> Lo específico del programa de Drexler es la noción de la manufactura, que conlleva la visión de una producción masiva que transformará la sociedad. Desde la publicación de su primer artículo en 1981, Drexler cambió de la noción de ingeniería molecular a la de manufactura. Esta presentación pionera de lo que podría ser un proceso desde abajo estaba inspirada claramente en la biología.

Los sistemas bioquímicos exhiben una “microtecnología” bastante diferente de la nuestra. No están contruidos hacia abajo desde el nivel macroscópico son hacia arriba desde el atómico. La microtecnología bioquímica proporciona una punta de lanza en el nivel molecular desde la cual desarrolla nuevos sistemas moleculares al aportar una diversidad de “herramientas” y “aparatos” para utilizar y copiar. Al construir con estas herramientas, hechas en sí mismas según especificaciones atómicas, podemos comenzar en la parte alejada de la barrera que enfrenta a la microtecnología convencional (Drexler, 1981: 5275).

La visión artificialista de los sistemas biológicos estimuló así un proyecto que se centraba en la imaginación de pequeñas máquinas que pudieran “tomar y situar” y ensamblar piezas sobre el modelo de los robots y las líneas de ensamblaje de una fábrica de automóviles. Unos años después, dada la escala de la operación, Drexler estaba embarcado en la ficción de los ensambladores autorreplicantes que generaba el prospecto de multitudes de nanoensambladores que se copiaban a sí mismos y consumían todos los recursos del planeta. El escenario, ahora demasiado familiar, de la pegajosa sustancia gris sería una conse-

<sup>4</sup>Por ejemplo, ya en 1956, Arthur von Hippel, profesor del MIT proponía un centro de investigación interdepartamental denominado “ingeniería molecular”. La disciplina emergente estaría dirigida al diseño de nuevos materiales sobre la base de la comprensión molecular. Incluía la estructura, formación y propiedades de los átomos, moléculas, iones, de los gases, líquidos, sólidos, y sus interfaces. Los parámetros más fundamentales serían los eléctricos, magnéticos y mecánicos (archivos del MIT, AC 12, caja 71).



cuencia directa y lógica de la opción de Drexler por un modelo de manufactura. Aunque recientemente Drexler se lamenta de sus especulaciones de la pegajosa sustancia, es importante enfatizar que, en su visión, la ingeniería y la tecnología consisten básicamente en la manufactura.<sup>5</sup>

Mientras la controversia desatada por Drexler se centraba en la factibilidad de los ensambladores universales, cada vez se hizo más evidente que sus opositores cuestionaban el modelo de la manufactura sin rechazar la metáfora de la máquina. Es significativo que George Whitesides, un profesor de Harvard, desarrollara su argumentación en contra de los ensambladores moleculares de Drexler en un artículo titulado *The Once and Future Nanomachines* (Las nanomáquinas de entonces y del futuro) (Whitesides, 2001). Whitesides contrasta las máquinas hechas por humanos con las máquinas naturales pero nunca pone en tela de juicio la metáfora de la máquina.

Las máquinas a nanoescala ya existen, en forma de componentes moleculares de las células vivas –como las moléculas de proteína o de ARN, agregados de moléculas u organelos (pequeños órganos)– en una enorme variedad y sofisticación. La pregunta más amplia de si las máquinas a nanoescala existen fue ya contestada afirmativamente por los biólogos hace muchos años. La pregunta ahora es: ¿Cuáles son los diseños más interesantes para utilizar con las futuras nanomáquinas? ¿Y cuáles riesgos plantearían, si los hay? (Whitesides, 2001: 78).

La manufactura molecular de Drexler se representa como un modelo anticuado y obsoleto que tiene que ser reemplazado por un modelo más moderno y adecuado a los tiempos tomado de las células vivas. Imitar las máquinas humanas es tan inadecuado como ineficiente dadas las limitaciones de la fabricación a nanoescala. En contraste, imitar las más simples nanomáquinas celulares es un desafío maravilloso.

En otras palabras, la disputa entre Drexler y Whitesides parece basarse en dos modelos rivales de maquinaria. Ambos están de acuerdo en que la nanotecnología debería inspirarse en los organismos vivos, pero difieren cuando se trata de las formas de hacer estas nanomáquinas.

### Las máquinas mecánicas de Drexler

¿Qué es la “vida” para Drexler y sus colegas en el Foresight Institute? Desde el principio, Drexler basó su plan de manera explícita en una comparación deta-

<sup>5</sup>*Nature*, 429, 10 de junio de 2004, p. 591. Véase también Phoenix y Drexler, 2004.

llada entre los componentes bioquímicos y las unidades de operación de las máquinas macroscópicas, como se muestra en su artículo de 1981 (véase cuadro).

Con puntales, cables, cierres, pegamento, motores, abrazaderas, contenedores, bombas y pinzas, los cuerpos vivientes de Drexler recuerdan de manera sorprendente a los animales-máquinas de Descartes. En ambos casos, la máquina viviente está hecha de un conjunto de piezas independientes –unos cuantos ladrillos– ensamblados mecánicamente por un diseñador. Drexler describía a las moléculas como bloques rígidos de construcción similares a las partes los juguetes de armar –ya fueran mecanos o conjuntos de construcción de Lego. Las

#### COMPARACIÓN DE LOS COMPONENTES MACROSCÓPICOS Y MICROSCÓPICOS

<i>Tecnología</i>	<i>Función</i>	<i>Ejemplo(s) molecular(es)</i>
Puntales, vigas, abrazaderas	Transmiten fuerza, conservan posiciones	Microtúbulos, celulosa, estructuras minerales
Cables	Transmiten tensión	Colágeno
Cierres, pegamento	Conectan partes	Fuerzas intermoleculares
Solenoides, actuantes	Mueven cosas	Conformación y cambio de proteínas, actina/miosina
Motores	Hacen girar ejes	Motor de flagelos
Ejes de dirección	Transmiten rotación	Flagelos bacteriales
Abrazaderas	Soportan partes que se mueven	Ligas de sigma
Contenedores	Conservan fluidos	Vesículas
Tuberías	Conducen fluidos	Diversas estructuras tubulares
Bombas	Mueven fluidos	Flagelos, proteínas de membrana
Bandas sinfín	Mueven componentes	ARN movido por ribosoma fijo (análogo parcial)
Prensas	Sostienen piezas de trabajo	Sitios de vínculo enzimático
Herramientas	Modifican piezas de trabajo	Complejos metálicos, grupos funcionales
Líneas de producción	Construyen aparatos	Sistemas de enzimas, ribosomas
Sistemas de control numérico	Almacenan y leen programas	Sistema genético

Fuente: Drexler, 1981.

funciones desarrolladas por las diversas piezas de la maquinaria molecular también son esencialmente mecánicas. Se posicionan, se mueven, transmiten fuerzas, cargan, sostienen, almacenan, etcétera. Aunque Drexler declaró que su manufactura molecular es la extrapolación a la escala más pequeña –por un proceso de “encogimiento mental” de las actuales fábricas automatizadas (Drexler, 2001: 74)–, sus autómatas se parecen a los autómatas de Vaucanson, que realizan complejas tareas gracias a un ensamblado de mecanismos simples. Drexler gusta de la metáfora de las “manos moleculares” que desempeñan la función deseada. Los nanosistemas son como fábricas metidas en un rígido marco de movimientos controlados en los que se usan los ladrillos de la materia como elementos básicos.

Como en la teoría de Descartes de los animales-máquina, las tareas a desarrollar por la nanomáquina, es decir, la dirección de sus movimientos, son incluidas por el diseñador en los aparatos mecánicos. El proceso de ensamblado mismo se describe con la metáfora de “mecanosíntesis” o el “uso del control mecánico para guiar el acomodo de las moléculas de manera que se construyen objetos complejos” (Drexler, 1995, 6). La palabra clave es “ensamblador molecular”. Esta es la vara mágica que reúne a las piezas en una estructura que les permite desempeñar tareas útiles. Los ensambladores moleculares son “aparatos capaces de guiar reacciones químicas al posicionar las moléculas reactivas con precisión atómica” (Drexler, 2003b). No son moléculas específicas ni individuales. Se describen como ensambladores universales, para todos los propósitos, que pueden ensamblar todo tipo de materiales de la misma manera en que los ribosomas pueden ensamblar todo tipo de proteínas.

Sabemos que Drexler conformó su programa de manufactura molecular mientras estuvo afiliado como investigador en el actual laboratorio de sistemas espaciales del MIT, que en ese entonces era el laboratorio de inteligencia artificial, bajo el patrocinio de Marvin Minsky. Es por ello bastante probable que este programa recibiera una influencia de los conceptos de la cibernética. Aunque las referencias de Drexler a *Engines of Creation* de Von Neumann se limita a sus estudios de máquinas autorreplicantes, puede también haber tomado prestada su noción de “ensambladores universales” que eran capaces de tomar componentes y sacarlos de su ubicación para armarlos según instrucciones programadas. De manera similar, los ensambladores de Drexler moverían átomos, los pondrían en la posición correcta y los unirían.

El programa de Drexler parece, por tanto, combinar dos modelos de máquinas. Por un lado, su descripción de la manufactura molecular se basa en la mecánica clásica, que sólo requiere de espacio, materia y movimiento. En este sentido, su materia es como la materia de Boyle, uniforme y católica, desprovista de espontaneidad al igual que de individualidad. Las máquinas moleculares,

como los mecanismos de los relojes, requieren las manos y el cerebro de un relojero. Como enfatizó Georges Canguilhem en un comentario acerca del mecanicismo cartesiano, esas máquinas mecánicas no están desprovistas de finalidad: toda la teleología se concentra en el punto inicial, en el acto del diseño; y es cándidamente antropomórfica (Canguilhem, 1952: 113-114). Canguilhem caracterizó a la teleología inherente al mecanismo cartesiano como “antropomorfismo tecnológico”. Por el otro lado, Drexler se refiere implícitamente a las máquinas computacionales sin enfrentar el reto de la complejidad que Von Neumann profetiza claramente.<sup>6</sup>

Una segunda característica de importancia que Drexler conservó de los sistemas biológicos es que operan bajo un control programático. En consecuencia, conformó “un mundo en el que los datos digitales pueden utilizarse para controlar máquinas de propósitos generales que pondrán los bloques de construcción fundamentales de la materia para construir casi cualquier cosa” (Drexler, 1995: 17). El sistema de ADN-ARN aporta el código y las instrucciones para que opere la máquina. El ensamblado de proteínas funciona de acuerdo con instrucciones rígidas, de manera limpia y eficiente. La manufactura molecular de Drexler se describe en un claro contraste con la manufactura química. Las reacciones químicas son extraordinariamente sucias:

Los químicos de hoy hacen estructuras moleculares complejas tomando piezas más pequeñas, uniéndolas, revolviendo y esperando que se mezclen entre sí para lograr el producto correcto. Si te imaginas tratando de hacer un automóvil tomando partes, poniéndolas en una caja, agitando, esperando que se junten para hacer una máquina que trabaje, concluirías que es muy útil tener robots o manos, o algo parecido involucrado en el proceso (Drexler, 1995: 2).

La química se ve tan primitiva y sucia cuando se le compara con las máquinas de proteínas, que Drexler se pregunta de qué manera los químicos, carentes de “manos moleculares con las cuales poner las partes en donde las quieren poner”, se las han arreglado para lograr cosas tan notables. En las cosas vivas Drexler encuentra una preciosa guía para mejorar las tecnologías químicas. Las enzimas son su modelo favorito de ensambladores. “Las [enzimas] ensamblan grandes moléculas”, explica “tomándolas juntas de modo que se forma un vínculo”. De esta manera, forman ADN, proteínas y muchos otros elementos biológicos. Por lo tanto debería ser posible ponerlas a trabajar en iones metálicos o en estructuras complejas con el objeto de soldar moléculas con la precisión de má-

<sup>6</sup>Dupuy, 2000. Drexler realizó su doctorado en el laboratorio de Marvin Minski, quien escribió su tesis doctoral bajo la dirección de Von Neumann.

quinas programadas. Sin embargo, si las enzimas y las proteínas muestran cómo construir nanomáquinas, no proporcionan un modelo perfecto para la nanotecnología. Drexler propone utilizar máquinas de proteínas sólo para la primera generación de nanomáquinas porque presentan serios defectos como materiales de ingeniería. Los aminoácidos de las que están compuestas simplemente no son lo suficientemente fuertes para la construcción de nanomáquinas. La ambición de Drexler es imitar los aparatos vitales que operan con instrucciones genéticas con el objeto de construir máquinas más robustas que los organismos.

Finalmente, Drexler tomó un tercer concepto de la biología –la evolución– para legitimar su programa. Drexler está a favor de un modelo evolucionista de los cambios tecnológicos y presenta a la tecnología humana como la continuación de la evolución natural. El capítulo 2 de *Engines of Creation* situaba el surgimiento de la manufactura popular en una grandiosa imagen que comenzaría con el orden cósmico a partir del caos y éste luego evolucionaría gradualmente hacia la organización, luego replications y tecnología. Los principios evolucionistas guían los ejercicios de previsión de Drexler. Se supone que determinan qué caminos están abiertos y son posibles al igual que señalan los límites de los logros tecnológicos. Drexler utiliza así la biología evolucionista para “naturalizar” el tipo de tecnología que él promueve. A este respecto, preparó el camino para las profecías de Ray Kurzweil sobre las máquinas espirituales y la inteligencia universal.

Para Ray Kurzweil, un enérgico seguidor del programa de Drexler y activo promotor de la inteligencia artificial, la nanotecnología es el medio, pero la inteligencia artificial es el fin. Kurzweil utiliza la biología evolucionista para “naturalizar” el tipo de tecnología que él promueve. Según señala, fue la evolución de la vida misma la que tendió a superar las limitaciones del cerebro humano al inventar la tecnología computacional y luego dirige la construcción de los nanorrobots. Esta vaga noción de un proceso de hominización es todo lo que Kurzweil requiere para situarse como el profeta de una nueva era de máquinas espirituales. Su argumento descansa sobre dos postulados: 1. las tecnologías humanas son la continuación de la evolución biológica; así como la lasca constituyó una extensión de la mano humana, de esa forma el nanorrobot extiende el cerebro humano; 2. el crecimiento exponencial es característico de cualquier proceso de evolución, del cual la tecnología es un ejemplo primordial (Ley de Moore). La conclusión lógica de este silogismo es esta: la era dorada de la nanotecnología llegará dentro de un par de décadas como un futuro inevitable. Por ser la continuación del proceso natural de la evolución, no tenemos opción en el tema. Debemos simplemente aceptarla y adaptar a nuestra sociedad a un mundo compartido con los nanorrobots.<sup>7</sup>

<sup>7</sup>Tal es la conclusión del testimonio de Kurzweil, citado antes. La tecnología siempre ha sido una espada de doble filo, así que simplemente necesitamos instrumentar “tecnologías defensivas” en contra de

Como síntesis de esta sección, puede decirse que los seguidores de Drexler desarrollaron un concepto de máquina que combina un viejo mecanismo mecanicista heredado de la mecánica cartesiana –una materia pasiva movida por agentes externos– con un modelo computacional de las máquinas, más reciente, heredado de la cibernética.

Tanto el modelo mecanicista como el cibernético descansan sobre la suposición de un mecanismo ciego que opera con intencionalidad bajo el control de un programa. La misma evolución biológica se concibe como un mecanismo ciego operado y controlado por un algoritmo todopoderoso.

### El modelo dinámico

Los químicos que critican enérgicamente el modelo de máquina de Drexler proponen una perspectiva bastante diferente. El frecuente uso que hace George Whitesides del término “arte” en sus artículos sobre la nanotecnología epitomiza la aproximación de éstos al campo.<sup>8</sup> Las nanoestructuras pertenecen al “arte” tanto en el sentido aristotélico de *téchne* o diseño para fines específicos, como en el sentido de habilidad, dado que requieren de la invención de métodos ingeniosos y poco convencionales de nanofabricación. Para los químicos, la era de la nanotecnología no constituye exactamente una ruptura radical. Después de todo, construir arquitecturas moleculares es lo que la química ha hecho durante muchos siglos y los químicos se inspiraron en las estructuras vivientes antes de que el término nanotecnología se pusiera de moda. En 1978, por ejemplo, la bioinspiración condujo a la creación de una nueva rama de la química –la química supramolecular– cuyo propósito es obtener el reconocimiento molecular sin la ayuda de un código genético a través de procesos químicos que imitan la selectividad de los procesos biológicos. Según Jean-Marie Lehn, quien acuñara el término “química supramolecular”, “es una de las principales motivaciones de los químicos el ver que la biología logró con éxito propiedades altamente complejas sobre una base molecular”.<sup>9</sup>

En su bioinspiración, los químicos de materiales están menos preocupados por los programas genéticos y la ingeniería genética que con la materia de que están hechos los objetos vivientes. Su principal propósito es entender qué es lo que hace únicos a los materiales biológicos, tanto en la estructura como en la dinámica de su desarrollo y morfogénesis.<sup>10</sup> Los organismos vivos son modelos

---

los nanorrobots autorreplicantes, de la misma manera que nuestra sociedad se defiende frente a los virus computacionales. Véase también, Kurzweil, 1998.

<sup>8</sup>Véase por ejemplo, Whitesides, 1998; Whitesides y Love, 2001.

<sup>9</sup>Lehn, 2004; véase también Lehn, 1995.

<sup>10</sup>Véase, por ejemplo, Sarikaya y Aksay, 1995.

de nanodiseño primero, y sobre todo porque presentan materiales adaptados, en su diseño, a un conjunto de desempeños.

Al igual que Drexler, los científicos e ingenieros de materiales han conformado una visión artificial de la naturaleza. Para ellos, la evolución biológica es un tipo de ingeniería en proceso de diseñar sistemas eficientes. A diferencia de Drexler y Kurzweil, sin embargo, suponen que la naturaleza es un ingeniero insuperable. La naturaleza no es tanto un modelo de orden, sino un modelo de ingeniosidad (*ingenium*). Es un mago, un diseñador astuto que realiza trucos con las leyes de la naturaleza. Por ejemplo, Richard Smalley, quien recibiera el Premio Nobel por el descubrimiento del  $C_{60}$ , describe los funcionamientos de la naturaleza en términos superlativamente lúdicos:

La naturaleza ha jugado el juego a este nivel [la nanoescala] durante miles de millones de años, construyendo materia con precisión atómica. Cada objeto viviente se compone de células que están plagadas de nanomáquinas –proteínas, ADN, ARN, etcétera– cada una circulando en el agua de la célula, frotándose contra otras moléculas, realizando el proceso de la vida. Cada una es perfectamente correcta hasta el último átomo. Los funcionamientos son tan exquisitos que cambiar la ubicación o la identidad de cualquier átomo causarían daños (Smalley, 1999).

Al tratar de entender los trucos utilizados por la naturaleza para resolver sus “problemas de ingeniería”, los químicos de materiales recibieron tres lecciones fundamentales de la biología.

Primero, los biomateriales son interesantes porque nunca son homogéneos. Mientras los materiales producto de la ingeniería por lo general son procesados para una propiedad única, los biomateriales son estructuras compuestas multifuncionales. El interés de los científicos de materiales, en especial los químicos que trabajan en compuestos de alto desempeño, es aprender algo acerca del arte de asociar estructuras heterogéneas provenientes de la naturaleza misma. En su esfuerzo por diseñar estructuras compuestas en el nivel molecular, dirigieron su atención hacia materiales tan familiares como la madera, el hueso o el moco, o hacia conchas de moluscos, cutículas de insectos, seda de arácnido, etcétera. Estas estructuras compuestas –que asocian duro con suave, combinan componentes inorgánicos con orgánicos y son capaces de un alto desempeño– parecían ser modelos ideales para la tecnología humana, por varias razones. Son modelos de diversidad funcional que se adaptan a una variedad de tareas, incluidas las de crecimiento, reparación y reciclaje. A diferencia de las máquinas de Drexler, con partes rígidas cada una de ellas diseñada para una función específica, las nanomáquinas biológicas pueden no ser mecánicamente

te robustas y puede que no sean desempeños óptimos, pero ofrecen un buen punto intermedio entre propiedades para diferentes ambientes. La clave del éxito de los organismos vivos no descansa en un solo diseño de bloque de construcción que concentra todas las instrucciones o la información para operar la máquina. En cambio, la biología enseña a los químicos que el éxito proviene de mejorar el arte de mezclar componentes heterogéneos y elaborar soluciones elegantes a problemas complejos. En consecuencia, el enfoque se centra menos en los componentes últimos de la materia que en las relaciones entre ellos. Las interfaces y las superficies son cruciales porque determinan las propiedades de los componentes de materiales compuestos y cómo trabajan en conjunto. La nanoquímica se distingue del cultivo de la pureza y de las cámaras de alto vacío al proponer un proceso impuro de composición e hibridización que imita a los materiales naturales. La biología no ofrece un modelo de información altamente concentrada, como sugería la famosa charla de Feynman. Se trata de un modelo de interacción y composición. La naturaleza desafía a los científicos de nanomateriales a diseñar un compuesto que muestre más propiedades que la suma de las propiedades de sus componentes. En este caso, la biología proporciona un modelo de emergencia.

Las mayores objeciones de Whitesides y Smalley se relacionan con la visión de Drexler en cuanto a los ensambladores universales. Drexler veía en las enzimas el modelo de los ensambladores universales, una especie de manos moleculares capaces de mover partes hacia la posición correcta para ser ensambladas. Esta afirmación ha provocado el escepticismo de los químicos que están muy conscientes de las limitaciones de la reactividad de los átomos. Smalley plantea dos objeciones: no sólo es obvio que los “dedos moleculares” abarcarían demasiado espacio y evitarían la cercanía necesaria para las reacciones a nanoescala (el problema de los “dedos gordos”); sino que también se adherirían al átomo que se moviera, haciendo imposible mover un bloque de construcción a donde se deseara que estuviera (el problema de los “dedos pegajosos”). Drexler replicó a estas objeciones en una carta abierta: “Mi propuesta es, y siempre ha sido, guiar la síntesis molecular de estructuras complejas posicionando mecánicamente a las moléculas reactivas, no manipulando átomos. Esta propuesta se ha defendido con éxito una y otra vez, en artículos de revistas, en mi tesis doctoral del MIT [...]” (Drexler, 2003b).

Se quejó de que Smalley intentara debilitar sus credenciales científicas y de que para posicionar moléculas reactivas no se requerían “dedos de Smalley”\* controlados por computadora. Smalley respondió con una pregunta: “Así que

\*Juego de palabras en inglés que hacen alusión al tamaño de los dedos y al autor (Small, Smalley) (N. del T).



si el ensamblador no utiliza dedos, ¿qué utiliza?” Si hay algún tipo de enzima o ribosoma en los nanorrobots autorreplicantes, razonaba, entonces debería existir agua en su interior porque las enzimas y los ribosomas sólo pueden trabajar en agua en la que encuentren todos los nutrientes necesarios para los sistemas vivientes. Dado que no hay posibilidad de una química fina sin solvente, Smalley negaba que los nanorrobots que trabajaran en un alto vacío fueran factibles. Como hizo notar Phillip Ball (2003), “queda cada vez más claro que el debate acerca del alcance último y las posibilidades de la nanotecnología giran en torno de cuestiones de química básica”.

Para Whitesides, el programa de Drexler de forzar las reacciones químicas al situar a los reactantes en la posición correcta es inútil: “la fabricación basada en el ensamblador no es, en mi opinión, una estrategia realizable y por tanto no constituye una preocupación. En el futuro previsible no tenemos nada que temer acerca del pegoste gris” (Whitesides, 2001: 83). Los químicos de materiales simplemente descartan el escenario de Drexler porque su principal objetivo es deshacerse de los ensambladores, a favor del auto-ensamblaje. Lo máximo en su “arte” consiste en que converjan componentes heterogéneos de manera *espontánea* en la ubicación correcta y en ensamblar grandes agregados sin una intervención externa. De hecho, ni la manipulación de las moléculas ni la programación de máquinas requiere una intervención externa porque los componentes se mueven por sí mismos. Una perspectiva fascinante se abrió por George Whitesides (1995):

Nuestro mundo está poblado por máquinas, por entidades no vivientes ensambladas por los seres humanos a partir de componentes que ha hecho la humanidad (...) En el siglo XXI, los científicos presentarán una estrategia de manufactura basada en máquinas y materiales que virtualmente se hacen a sí mismas; lo que se denomina autoensamblado es más fácil de definir por lo que no lo es. Un proceso de autoensamblado es un proceso en el que los humanos no participan de manera activa, en el que los átomos, las moléculas y los agregados de moléculas y los componentes se acomodan por sí mismos en entidades ordenadas y operantes sin intervención humana (...) Las personas pueden diseñar el proceso y pueden lanzarlo, pero una vez que se inicia, procede de acuerdo a su propio plan interno, ya sea hacia una forma energéticamente estable o hacia algún sistema cuya forma y función están codificadas en sus partes.

Ciertamente, Whitesides proporciona aquí tan sólo una definición negativa del autoensamblaje, pero esto no significa que se trate de un proceso oscuro que los químicos no comprendan. Se exploran muchos procesos para generar va-

riantes del autoensamblaje altamente direccional de la naturaleza. Los químicos utilizan formatos como el del silicio mesoporoso o conducen síntesis en compartimientos (Ball, 2002: 25-26). Aprovechan todos los posibles recursos de la química y la termodinámica en su esfuerzo por movilizar todo tipo de interacciones entre átomos y moléculas. En vez de utilizar ligas covalentes como los químicos orgánicos tradicionales, hacen uso de interacciones débiles como las ligas de hidrógeno, interacciones de Van der Waals y electrostáticas. Utilizan microfluidos y surfactantes para producir monocapas autoensambladas, las que, a su vez les permiten moverse del nivel de las estructuras atómicas y moleculares a las de propiedades macroscópicas.

El autoensamblaje presupone que las instrucciones para el ensamblaje son inherentes a los componentes mismos y que están integradas en sus relaciones. La materia ya no puede verse como un receptáculo pasivo sobre el que se plasma la información externa porque el autoensamblaje se basa en las reacciones espontáneas entre materiales. Las moléculas tienen una actividad inherente, una *dynamis* intrínseca que permite la construcción de una variedad de formas geométricas (hélice, espiral, etcétera). No se trata de una fuerza vital oscura y misteriosa, un aliento, o *animus*, que pudiera provenir del exterior para dar vida a una materia inanimada. Es más similar a la fuerza interna de Claude Bernard, que guía a los fenómenos generados por causas físico-químicas. Pero, irónicamente, fue la aproximación reduccionista de la biología molecular –la concepción de los mecanismos de reconocimiento molecular al igual que los procesos de morfogénesis– los que eventualmente permitieron a los químicos desarrollar esas visiones emergentistas de las arquitecturas moleculares.<sup>11</sup>

Un tercer contraste entre las visiones de los químicos y las de Drexler de las nanomáquinas reside en su atención a la complejidad. Aquí, el término se toma en un sentido débil, para referirse a procesos no lineales. La complejidad se convirtió en un problema cuando los químicos comenzaron a examinar el comportamiento de moléculas sencillas en vez de tratar con moléculas en número de Avogadro. ¿Cómo cooperan las moléculas para producir las propiedades y comportamiento promedio de los químicos macroscópicos familiares?, se convirtió en una pregunta intrigante (Whitesides e Ismagilov, 1999). De hecho los químicos han sospechado que las nanopartículas se comportan

<sup>11</sup>La emergencia en este caso debe entenderse en términos termodinámicos como la producción de un orden superior a partir de un orden inferior el que, de acuerdo con Norbert Wiener, era la principal característica compartida de las máquinas y de los organismos vivientes. El autoensamblaje es un proceso que va de ensambles de moléculas o macromoléculas menos ordenados termodinámicamente a unos de más alto rango. Los agregados resultantes poseen nuevas propiedades que no podían predecirse a partir de las características de los componentes individuales. Una diferencia importante yace en el hecho de que los agregados formados en un ambiente de laboratorio se encuentran en un estado de equilibrio, mientras que los seres vivientes en su mayoría están fuera de equilibrio.

de manera diferente que las partículas químicas macroscópicas, desde mucho tiempo antes de la llegada de la nanociencia.<sup>12</sup> El oro, caracterizado por lo general por su color amarillo, se torna rojo cuando se le procesa en nanoesferas. Más generalmente, el color de las nanopartículas de metal y semiconductoras depende de su tamaño, una propiedad comúnmente utilizada en la industria del vidrio. En la actualidad también se utiliza para diseñar materiales magnéticos con coloides de hierro/platino, una aplicación que ha convertido la síntesis coloidal en un dominio altamente sofisticado y prometedor de la nanoquímica (Evans y Wennerstrom, 1999). Dada esta atención de larga data a propiedades sensibles al tamaño, el descubrimiento de que el comportamiento de semiconductor del grafito a granel puede modificarse para convertirse en un comportamiento metálico según el tamaño y la geometría de los nanotubos de carbón no resultó una revelación en la química teórica. Los químicos estaban preparados para admitir que los elementos tenían propiedades y comportamientos especiales cuando se les procesaba en nanoescala. A diferencia de los científicos computacionales, que están ansiosos por replicar máquinas convencionales en el nanonivel, los científicos de materiales se centran principalmente en las propiedades sensibles al tamaño. Su trabajo incluye a toda la jerarquía de estructuras en los sistemas vivientes, desde las grandes moléculas que se ensamblan en la nanoescala para formar organelos, hasta las células, tejidos y órganos que en última instancia componen a organismos únicos. Por lo tanto, no pueden basarse en una visión uniforme de la naturaleza como si fuera la misma para todas las escalas. Aun cuando es cierto que las leyes de la naturaleza son universales, los químicos no suponen que se apliquen igualmente a todas las escalas.

En síntesis, los químicos que trabajan en el diseño de nanomateriales parecen basarse en una visión subyacente específica de las máquinas, que revive varias nociones antimecanicistas. No privan a la materia de su espontaneidad o *dynamis*; en vez de ensamblar bloques de construcción prefabricados, juegan con la composición y las interfaces; en vez de inferir a partir de lo macro hacia las nanoescalas, suponen una jerarquía de estructuras. Mientras que los esfuerzos de Drexler están dirigidos a eliminar a la química con el objeto de trabajar bajo el estricto control de un programa, ellos movilizan todos los posibles recursos de la química, de la cinética y la termodinámica.

<sup>12</sup>Este fenómeno se observó en coloides metales o hidrosoles por Michael Faraday a mediados del siglo XIX y se conoció como el "efecto Tyndall" en honor de las observaciones que Tyndall hiciera para ampliar las de Faraday. Las partículas suspendidas pequeñas en relación con la longitud de onda de la luz visible (con radios de aproximadamente 20 nm) se colorean brillantemente en rojo, verde y violeta debido a que la interacción con la luz que entra es una combinación de absorción y dispersión (Arribart, 2004: 363).

## Raíces históricas

Es claro que los químicos y los ingenieros tienen dos visiones irreconciliables de las nanomáquinas. Es tan marcado el contraste que plantea la pregunta: ¿existen dos culturas dentro del campo llamado nanotecnología? En sus afirmaciones revolucionarias, Drexler y sus seguidores nunca mencionan los intentos previos de encontrar inspiración en la vida. Su énfasis en la aproximación desde abajo establece una discontinuidad frente a procesos materiales más tradicionales. Además, gracias a la referencia a Feynman, la nanotecnología parece enraizada en la física cuántica, por lo que provendría de una ciencia teórica “noble”, más que de una “sucía” física experimental o ingeniería de materiales. No obstante, ésta no constituyó la primera biomimética. Se han dado intentos previos de imitar a los organismos vivos en los niveles macro y micro.

El biomimetismo ha sido un *leitmotiv* en la tecnología, desde los intentos míticos –las alas de Dédalo– hasta ejemplos más recientes como el velcro. En muchas áreas tecnológicas como la aeronáutica, la arquitectura y los textiles, la imitación de objetos vivientes ha sido una práctica corriente que ha llevado a algunos resultados brillantes.<sup>13</sup> El biomimetismo es más que un puñado de invenciones inspiradas ocasionalmente exitosas. Se convirtió en un programa de investigación en el siglo xx, iniciado por Darcy Thompson, un zoólogo que aplicó las matemáticas al estudio de las formas vivientes y la física a su crecimiento. En *On Growth and Forms* (1992 [1942]) argumentaba que las diferentes partes de un organismo están conformadas óptimamente. Este libro constituyó la raíz de una aproximación conjunta a los organismos vivos por parte de biólogos e ingenieros. La biónica (literalmente “unidades de vida”) fue un intento por evaluar la eficiencia de un organismo o una máquina, por medir las estructuras y procesos por medio de los cuales se cumplían los propósitos o fines del sistema.<sup>14</sup> En el periodo de la posguerra, el biomimetismo se benefició de un fuerte apoyo del ejército estadounidense, la investigación naval y los National Institutes of Health. El término “biomímesis” se introdujo en 1961 en el segundo simposio de biónica por parte de Warren S. McCulloch, un neurocientífico, miembro del laboratorio de investigación electrónica del MIT, como un concepto genérico. Al tomar el término en su sentido más amplio, “la imitación de una forma de vida por otra”, McCulloch (1962) incluyó a las estrategias miméticas para evitar a los enemigos o atrapar a las presas, que están predeterminadas por

<sup>13</sup>Vogel, 1998: 249-275. Entre los ejemplos más famosos de copias exitosas se encuentran el Palacio de Cristal, diseñado por Joseph Pastón, cuyo techo supuestamente copiaba un gigantesco lirio acuático; el pequeño telar para extraer las fibras textiles inspirado por el órgano de los gusanos de seda; el alambre de púas; y el velero, inventado por el ingeniero suizo Georges Mestral sobre el modelo de los ahuates que se pegaban a sus calcetines.

<sup>14</sup>Véase, por ejemplo, Howland, 1962.

los genes de los insectos. McCulloch dividía a la biomímesis en dos campos distintos, la cibernética y la biónica. La cibernética, argumentaba, trata con las funciones de control en vez de con el trabajo mecánico.<sup>15</sup> Se ocupa principalmente de los mecanismos de regulación y de control de retroalimentación (*feedback control*). En contraste, la “biónica” se definió “como un intento por comprender suficientemente bien los trucos que la naturaleza utiliza de hecho para resolver sus problemas, permitiendo así que los convirtamos en *hardware*” (McCulloch, 1962: 393). Según McCulloch, esta última requiere, más que interdisciplinariedad, nuevas habilidades. Convocó a una ciencia novedosa y a una nueva organización de la investigación científica porque “uno debe tener en su cabeza un conocimiento razonable tanto de la ingeniería como de la biología” con el propósito de entender a los sistemas vivos. Primero llamó a los especialistas en lógica para que se unieran al programa porque son necesarias nuevas habilidades en lógica y matemáticas para entender la compleja organización de los sistemas vivos. En segundo lugar convocó a un creciente trabajo en la termodinámica de los sistemas abiertos porque el principal desarrollo que veía venir fue el de la comprensión de los procesos naturales que se acompañan de una creciente entropía: de qué manera evoluciona el orden desde el interior en vez de que se fuerce sobre un material tras torturarlo. En biónica el énfasis se situaba en la estructura holística de los organismos vivos. Por ejemplo, en un artículo introductorio titulado “Bio-logic”, Heinz von Foerster argumentaba que el principio fundamental en la vida era el de la “coalición”, más que la autorreproducción. “Lo que yo llamo «coalición» es un agregado de elementos que pueden hacer cosas conjuntamente, que por separado todas ellas nunca podrían lograr. Se caracteriza por una composición no lineal súper-aditiva en la que el todo es mayor que la suma de la medida de sus partes” (Foerster, 1962).

Finalmente, McCulloch identificó una tercera tendencia, aunque menor, de la biomímesis: el diseño de organismos artificiales capaces de evolucionar y aprender. En esta época, era apenas un pequeño grupo el que interactuaba con la comunidad, pero ello habría de tornarse en algo extremadamente a la moda en la ciencia y la ingeniería de materiales en las décadas pasadas. Los científicos de materiales ven a la naturaleza como un diseñador insuperable de estructuras óptimas, multifuncionales y autorreparables (Bensaude-Vincent *et al.*, 2002). Intentan comprender los “trucos que la naturaleza utiliza realmente para resolver sus problemas” e imitarlos con el objeto de resolver sus propios problemas.

<sup>15</sup>Según McCulloch, la cibernética surgió de la máquina de vapor, cuando Julian Bigelow señaló que era sólo la información que tenía que ver con el acto previo que tenía que regresar.

Más allá de la doble genealogía del biomimetismo de McCulloch, el actual divorcio entre los dos paradigmas de la nanotecnología encuentra un eco en un problema filosófico más antiguo. La actual tendencia genera serios “riesgos epistemológicos”. Puede ser que el modelo mecanicista posea un poder heurístico por un tiempo, como lo tuvo, por ejemplo, en la historia de la medicina. No obstante, su relevancia epistémica como un modelo simplificador puede llevar a un obstáculo epistémico porque ignora la dinámica y el poder internos que operan tanto en los organismos vivos como en los sistemas tecnológicos. Además, como sugiriera George Canguilhem, en un artículo con el tema “máquina y organismo”, la mecanización de la vida es inseparable de un proyecto de instrumentalización de la vida y de control sobre la naturaleza. La teoría de Descartes de los animales-máquinas se basaba en una depreciación sistemática de los animales con el objeto de legitimar su utilización como herramientas por parte de los humanos (Canguilhem, 1952, 111). Los asuntos éticos y epistemológicos están estrechamente interrelacionados.

En este punto crítico, podría ayudar el remontarse a la antigua noción griega de *téchene*.<sup>16</sup> Es bien sabido que, aunque Aristóteles definía *téchne* como una *mimesis* de la naturaleza, no dudaba en proponer analogías de las artes para describir a la naturaleza como un artesano que despliega el ingenio asociado con la mecánica. No hay nada nuevo en la actual artificialización de la naturaleza. Ya en la antigüedad había dos diferentes visiones, ocasionalmente conflictivas, de la tecnología. Por un lado, las artes o *technai*, eran consideradas como operando en contra de la naturaleza, como contrarias a la naturaleza. Este significado del término *para-physin* proporcionó la base para repetidas condenas de la mecánica y la alquimia. Por otro lado, las artes –en especial la agricultura, la cocina y la medicina– eran consideradas como algo que asistía o incluso mejoraba a la naturaleza al emplear las *dynameis* o poderes de la naturaleza. En la perspectiva anterior, el artesano, como el *demiurgos* de Platón, construye un mundo al imponer sus propias reglas y racionalidad sobre una materia pasiva. La tecnología es un asunto de control. En la segunda perspectiva, el artesano es más parecido al piloto de la nave en el mar. Conduce o guía las fuerzas y los procesos que aporta la naturaleza, revelando así los poderes inherentes en la materia.<sup>17</sup> Sin lugar a dudas, el modelo mecanicista de la nanotecnología pertenece a la tradición demiúrgica. Se trata de una tecnología fascinada por el control y la conquista de la naturaleza.

La nanotecnología y la biotecnología se ocupan principalmente del control de la naturaleza en el nivel más básico, es decir, el nivel de los bloques de cons-

<sup>16</sup>Véase, por ejemplo, Schiefsky (en prensa), y Staden (en prensa).

<sup>17</sup>Sobre el contraste entre las dos definiciones de tecnología en el caso de los organismos genéticamente modificados, véase Larrère, 2002.

trucción atómicos. Realmente no importa si el control de la maquinaria molecular está en las manos de los humanos o en las manos de *cyborgs* poshumanos. El escenario de la pegajosa sustancia gris es apenas la continuación de una larga tradición de mitologías y ficciones —que va desde Prometeo a Fausto y Frankenstein. No obstante, queda todavía un futuro alternativo que podría hacer de la nanotecnología algo más afín con la agricultura o la medicina tradicional. Susan Linquist, del Whitehead Institute, en MIT, dijo una vez que “Hace unos diez mil años, los [humanos] comenzaron a domesticar a plantas y animales. Ahora es tiempo de domesticar a las moléculas” (citada en Zhang, 2003: 1177). En este caso, el hacer más ambigua la frontera entre la vida y la materia no invita al reduccionismo ni a los sueños de control. Por el contrario, los nanocientíficos que tratan con moléculas aisladas no pueden adoptar la relación regular entre sujeto y objeto. Las moléculas aisladas tienden a convertirse más en individuos o socios a los que la ciencia y la tecnología tratan de domesticar. Si los científicos y los ingenieros estuvieran listos para comportarse como granjeros que se basan en plantas y animales o como pilotos que se basan en los vientos para guiar sus naves marítimas, nuestro futuro sería menos trágico de lo que parece en la actualidad. Los marineros saben que todos los viajes tienen sus riesgos, que sus trabajos requieren muchas precauciones porque tienen que negociar con los elementos naturales, involucrando necesariamente una buena dosis de incertidumbres.

## Bibliografía

- ARRIBART, H. (2004), “Les nanomatériaux autres que ceux des technologies de l’information et des communications (TICS)”, en Académie des Sciences, Académie des Technologies (eds.), *Nanosciences, nanotechnologies*, París, Éditions Tec and Doc, pp. 361-382.
- BALL, P. (2002), “Natural Strategies for the molecular engineer”, *Nanotechnology*, 13, pp. 15-28.
- (2003), “Nanotechnology in the firing line”, *Nanotechweb.org*, 23 de diciembre [http://www.nanotechweb.org/articles/society/2/12/1/1].
- BENSAUDE-VINCENT, B., Arribart, B.Y. y C. Sanchez (2002), “Chemists at the School of Nature”, *New Journal of Chemistry*, 26, pp. 1-5.
- CANGUILHEM, G. (1952), *Machine et organisme’ en La connaissance de la vie*, París, Hachette [quoted from the fourth edition Vrin, París, 1971].
- DREXLER, K.E. (1981), “Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78, 9, chemistry section, pp. 5275-5278.
- (1986), *Engines of Creation*, Nueva York, Anchor Books.

- (1992), *Nanosystems. Molecular machinery, manufacturing and computation*, Nueva York, John Wiley and Sons.
- (1995), “Introduction to nanotechnology”, M. Krummenacker y J. Lewis (eds.), *Prospects in Nanotechnology. Proceedings of the 1<sup>st</sup> General Conference on Nanotechnology: Developments, Applications, and Opportunities, November 11-14, 1992, Palo-Alto*, Nueva York: John Wiley and Sons, pp. 1-20.
- (2001), “Machine-Phase nanotechnology”, *Scientific American* (septiembre) pp. 66-67.
- (2003a), “Open Letter”, *Chemical and Engineering News*, 81, 48, pp. 37-42.
- (2003b), An open letter to Richard Smalley, Abril 16, [published on KurzweilAI.net].
- DUPUY, J.P. (2000), *The Mechanization of the Mind*, Princeton N.J., Princeton University Press.
- EVANS, D.F. y H. Wennerstrom (1999), *The Colloidal Domain: Where Physics, Chemistry, Biology and Technology Meet*, Nueva York, John Wiley and Sons.
- FOERSTER, H. (1962), “Bio-Logic”, E.E. Bernard y M.R. Kare (eds.), *Biological prototypes and synthetic systems*, vol. 1, Nueva York, Plenum Press, pp. 1-12.
- GODSELL, D. (2003), *Living Machinery. Bionanotechnology: Lessons from Nature*, Nueva York, Wiley-Liss.
- HOWLAND, H. (1962), “Structural, hydraulic and economic aspects of leaf venation and shape”, E.E. Bernard y M.R. Kare (eds.), *Biological prototypes and synthetic systems*, vol. 1, Nueva York, Plenum Press, pp. 183-192.
- KURZWEIL, R. (1998), *The Age of Spiritual Machines, How We Will Live, Work and Think in the New Age of Intelligent Machines*, Nueva York, Phoenix.
- LARRÈRE, R. (2002), “Agriculture: artificialisation ou manipulation de la nature?”, *Cosmopolitiques*, 1 (junio), pp. 158-173.
- LEHN, J. M. (2004), “Une chimie supramoléculaire foisonnante”, *La lettre de l'Académie des sciences*, 10, pp. 12-13.
- (1995), *Supramolecular Chemistry*, Weinheim, vch.
- MCCULLOCH, W. S. (1962), “The imitation of one form of life by another. Biomimesis”, en E.E. Bernard y M.R. Kare (eds.), *Biological prototypes and synthetic systems*, vol. 1, Nueva York, Plenum Press, pp. 393-397.
- MINSKY, M. (1995), “Virtual Molecular Reality”, M. Krummenacker, y J. Lewis (eds.), *Prospects in Nanotechnology. Proceedings of the 1<sup>st</sup> General Conference on Nanotechnology: Developments, Applications, and Opportunities, November 11-14, 1992, Palo-Alto*, Nueva York, John Wiley and Sons, pp. 187-205.
- PHOENIX, C. y E. Drexler (2004), “Safe Exponential Manufacturing”, *Nanotechnology*, 15, pp. 869-872.
- RIETMAN, E.A. (2001), “Drexler hypothesis of a universal assembler is supported not by theoretical arguments alone but by existence proof in the form



- of biological life”, en *Molecular Engineering of Nanosystems*, Nueva York y Berlín, Springer.
- SARIKAYA, M. y I. Aksay, (eds.) (1995), *Biomimetics. Design and Processing of Materials*, Woodbury, Nueva York, AIP Press.
- SCHIEFSKY, M.J. (en prensa), “Art and Nature in Ancient Mechanics”, W.R. Newman y B. Bensaude-Vincent (eds.), *The Artificial and the Natural: An Ancient Debate and its Modern Descendants*, Cambridge, MA., MIT Press.
- SMALLEY, R.E. (1999), “Prepared written statement and supplemental material”, Rice University, 22 de junio [[http://www.house.gov/science/smalley\\_062299.htm](http://www.house.gov/science/smalley_062299.htm)].
- (2001), “Of Chemistry, Love and Nanobots” *Scientific American* (septiembre), pp. 76-77.
- STADEN, H.V. (en prensa), “*Physis* and *Technê* in Greek Medicine”, en W.R. Newman y B. Bensaude-Vincent (eds.), *The Artificial and the Natural: An Ancient Debate and its Modern Descendants*, Cambridge, MA., MIT Press.
- THOMPSON, D. (1992) [1942], *On Growth and Forms*, Cambridge, Cambridge University Press.
- VOGEL, S. (1998), *Cats’ paws and catapults*, Nueva York, Londres, Norton and Cy.
- WHITESIDES G. (1995), “Self-Assembling Materials”, *Scientific American*, (septiembre), 146-149.
- (2001), “The Once and Future nanomachines”, *Scientific American*, (septiembre), pp. 78-83.
- (1998), “Nanotechnology: Art of the Possible”, *Technology, MIT Magazine of Innovation*, (Noviembre-Diciembre), pp. 8-13.
- y J.C. Love (2001), “The Art of Building Small”, *Scientific American*, (septiembre), pp. 38-47.
- y R.F. Ismagilov (1999), “Complexity in Chemistry”, *Science*, 284, pp. 89-92.
- ZHANG, Shuguang. (2003), “Fabrication of novel biomaterials through molecular self-assembly”, *Nature Biotechnology*, 21(10), pp. 1171-1178.

## Privacidad *versus* vigilancia o cómo evitar un futuro nanopanóptico\*

Michael D. Mehta

*Al fin sólo a una sociedad que es fundamentalmente  
justa le puede ser confiada la nanotecnología.*

MONEY, 1999

LOS AVANCES en nanotecnología prometen provocar un nuevo tipo de revolución científica e industrial. Para los químicos e ingenieros químicos la nanotecnología representa un camino esencial de crecimiento y revitalización de sus respectivas ciencias. Para el público en general, la nanotecnología tiene el potencial de centrar la imaginación colectiva en las posibilidades de un mundo donde la escasez de recursos naturales, contaminación ambiental y problemas de salud supuestamente intratables sean cosa del pasado. La nanotecnología promete disminuir la importancia de la materia organizada y promover el desarrollo de tecnologías que son más limpias y más eficientes. Es claro que mucho se espera de la nanotecnología.

Además de cambiar la manera en que los objetos son de hecho contruidos, la nanotecnología estimulará un abanico de transformaciones sociales. Se presume que dichos cambios vayan incrementándose intrínsecamente, y pueden llevar a la sociedad hacia caminos que son indeseables, hablando en términos normativos. En este capítulo exploramos cómo el desarrollo de dispositivos de nanoescala para la vigilancia, seguimiento y monitoreo pueden crear una sociedad que funcione como un “panóptico”. Resumidamente un panóptico es una forma de vigilancia institucionalizada (y física). En esta era de alta sensibilidad hacia la seguridad, la nanotecnología puede proveer un conjunto valioso de instrumentos para extender la vigilancia. Pero, ¿a qué costo?

\* “Privacy vs. Surveillance. How to avoid a nanopanoptic future”, traducción del inglés por Guillermo Foladori.

### ¿Qué es un panóptico?

Tanto sociólogos como otras personas han escrito extensamente sobre la manera en que la gente responde al ser observada. A finales de los años veinte un profesor de la Universidad de Harvard llamado Elton Mayo condujo un conjunto de experimentos sociales en la planta Hawthorne de la Western Electric Company en Cicero, Illinois (Mayo, 1933; Roethlisberger y Dickson, 1939). Mayo y asociados estaban interesados en la productividad y manipularon una gama de variables del ambiente (*e.g.* luz, humedad, temperatura) para ver si los trabajadores serían más productivos bajo ciertas condiciones. Luego de más de cinco años de estudio, estos investigadores concluyeron que la productividad del trabajador se incrementaba cuando cualquier variable era ajustada. Hoy conocido como “el efecto Hawthorne”, este estudio es un famoso ejemplo de cómo la observación por sí misma es suficiente para inducir cambios en el comportamiento. Resumidamente, los trabajadores en la planta de Hawthorne eran más eficientes cuando eran observados porque notaban la atención (y posiblemente temían represalias) de su empleador. Desde este momento un rango de nuevas tecnologías ha incrementado el poder de observación.

Para entender los impactos sociales de la observación es útil considerar el trabajo de teóricos como Michel Foucault y su evaluación del panóptico dentro de prisiones y en otros lugares (Foucault, 1977). El argumento central de su libro es que el propósito del sistema carcelario establecido después de la Revolución francesa era el deshacerse del castigo basado en la regla arbitraria del monarca y el uso de la tortura. Esto representó una transformación radical en el ejercicio del poder, en tanto el recurso de la tortura como sistema de castigo estatal se volvió menos viable, o inclusive deseable, en un contexto crecientemente democrático y de ilustración. El régimen de la nueva burguesía implementó una profunda reforma del sistema carcelario estatal basado en el trato humano e igual a todos los prisioneros. Como parte de ese movimiento reformista, la Asamblea Nacional Francesa lanzó un concurso para el diseño de una nueva prisión que fuese costeable desde el punto de vista de su dirección estatal, y que ayudaría a crear ciudadanos modelo, o al menos prisioneros modelo.

Según Foucault, Jeremy Bentham entró al concurso y sugirió la construcción de un panóptico, una torre de observación localizada en el centro de la prisión. Usando un diseño abierto, serían colocadas barras de acero sobre el lado de cada celda que mirara al panóptico, de manera de hacer al ocupante totalmente visible para un guardia mirón. Una ventana exterior en cada celda proveería de luz natural y visibilidad adicional. Este sistema era diseñado para reducir los costos operativos de la institución ya que un único guardia podía, simultáneamente, observar a todos los prisioneros. Tal como un pez dorado en

una pecera, los prisioneros dentro del panóptico tendrían poca o ninguna privacidad.

Otra característica original e importante del panóptico es que es un sistema de observación unidireccional en el cual los prisioneros no podían decir si el guardia estaba de hecho observándolos. Esto significaba que, en teoría, podía no haber ningún guardia en el panóptico y los prisioneros aún así se comportarían como si estuviesen siendo observados. Aún sin la presencia del guardia mirón, los efectos de poder del panóptico eran sentidos por los prisioneros. Esto significaba que los individuos en cada celda debían aprender a practicar autocontrol para comportarse como buenos prisioneros que acataban las reglas carcelarias. A pesar de la ausencia de la violencia física institucionalizada contra los prisioneros, la mirada constante tenía efectos normalizantes no sólo en la conducta, sino en la autopercepción de la personalidad y en la manera de ver el mundo.

El sueño de la visibilidad total y de mirar sin tapujos está siendo alcanzado por una nueva tecnología de la vigilancia (Mehta y Darier, 1998). Una observación constante (o monitoreo) de los individuos es ahora posible, desde los estados de crédito, las transacciones financieras, las historias clínicas, los archivos policiales, las cámaras en espacios públicos, hasta los estudios de marketing para juzgar las preferencias del consumidor. Aún más importante, tecnologías de procesamiento de información crecientemente sofisticadas permiten la efectiva elección de grandes volúmenes de información, y proveen la habilidad para dar seguimiento a individuos mientras navegan por redes como Internet (Lyon, 2001). ¿Puede la nanotecnología intensificar estos efectos?

### **¿Es el nanopanopticismo un peligro real?**

La nanotecnología está estimulando avances significativos en vigilancia y monitoreo tecnológico. Facilitando la miniaturización de la tecnología de la cámara remota, los efectos panópticos de la vigilancia se magnifican. Pronto será posible colocar videocámaras indetectables, micrófonos y transmisores donde fuese que uno desee. Investigadores de la Universidad de Hiroshima y de la Nipón Hoso Kyokai (NHK), por ejemplo, han descubierto que películas de silicón de nanocrystal son fotoconductoras (TIFAC). Una vez que se obtiene mayor control sobre el tamaño de los granos de cristal, se hace posible usar dichas películas en dispositivos de doble carga para hacer videocámaras compactas y altamente sensibles.

Además de reducir el tamaño del equipamiento de vigilancia y de mejorar la sensibilidad, la nanotecnología tiene la posibilidad de incrementar el potencial de computación y de la capacidad de almacenaje de los dispositi-

vos electrónicos. Investigaciones sobre la incorporación de los fulleneros en nanotubos de carbón muestran cómo los nanocables pueden ser explotados por sus propiedades de conductividad y semiconductividad (Ajayan *et al.*, 1999). Otros enfoques incluyen el trabajo de científicos de la Universidad de Saskatchewan que recientemente obtuvieron una patente sobre un cable molecular con el descubrimiento de M-DNA (metal conteniendo ADN) (University of Saskatchewan, 2002). Iones metálicos de zinc, cobalto y níquel son insertados en ADN para crear semiconductores que son aproximadamente de dos nanómetros de grosor. Por último, compañías como NanoMagnetics están desarrollando nuevos materiales magnéticos que podrán, en breve, reemplazar la tecnología de las películas magnéticas actualmente en uso en los discos duros. Aumentando la densidad de almacenamiento y disminuyendo la granulación, discos de *terabytes*\* estarán pronto disponibles para PC y dispositivos manuales.\*\*

Otro tipo de equipo de monitoreo pronto estará disponible gracias a los avances en la microtecnología y nanotecnología. El rápido desarrollo de las plataformas portátiles de microfluído para monitorear la salud humana, las condiciones del ambiente y para uso en aplicaciones forenses y de seguridad nacional genera un montón de efectos panópticos diferentes. Conocidos corrientemente como “laboratorios en chip” o como “microarreglos” esta tecnología mide, pondera y mezcla pequeñas pruebas con reactivos, mueve mezclas en espacios reactivos, y separa los resultados con detectores. Muy pequeñas pruebas pueden ser analizadas *in situ* con esta tecnología. El desarrollo del análisis PCR-DNA usando dicha tecnología se muestra tremendamente prometedor para diagnosticar cáncer acelerando nuestro conocimiento de la oncogenómica, y haciendo accesible plataformas de bajo costo para seleccionar células y analizar sus diagnósticos genómicos, cromosomas y ADN mitocondrial (Stephenson, 1999). Por otro lado el uso de esta tecnología por empleadores y compañías de seguros para negar empleo o beneficios crea una serie de problemas sociales y éticos que deben ser asumidos. A estas alturas, los efectos panópticos de tales tecnologías pueden crear una sociedad donde la discriminación genética se vuelva científicamente defendible. ¿Significa esta tecnología la muerte de la privacidad tal como la conocemos?

\*1024 Gigabytes (N. del T.).

\*\*“NanoMagnetics hace crecer minúsculos granos magnéticos dentro de esferas de proteínas sin valor llamadas «apoferritin», que son 10,000 veces menores que el diámetro de un cabello humano. Estas partículas son limitadas en tamaño por la propia cavidad de las esferas, produciendo granos altamente uniformes. La proteína también puede ser usada para la producción de materiales alternativos, incluyendo otros metales o semiconductores. De forma importante estas partículas son producidas en paralelo usando técnicas químicas combinadas y baratas” (NanoMagnetics).

*¿Cómo podemos protegernos a nosotros mismos contra el nanopanopticismo sin desmerecer la nanotecnología?*

La privacidad se define generalmente como el derecho de estar solo y el derecho a controlar el flujo de cierto tipo de distintivos personales identificables. Como precondition de la confianza, la privacidad es un ingrediente esencial en una sociedad donde el "capital social" se requiere para estimular la innovación. Una sociedad con un fuerte capital social es una donde la confianza social favorece la cooperación y el trabajo en red para beneficio mutuo (Coleman, 1988). El peligro del nanopanopticismo crea una paradoja que puede mostrarse incontrolable. El uso en amplia escala del equipo de vigilancia puede crear una sociedad con menores niveles de confianza, menor capital social y con una postura cívica depresiva. Resumiendo, estos usos de la nanotecnología pueden deprimir la innovación y conducir a la sociedad hacia el futuro Orwelliano presagiado en la novela *1984*.

La nanotecnología es una espada de doble filo. A muchos niveles promete un futuro donde mejoras dramáticas pueden ser realizadas en la producción, el cuidado de la salud, la protección del medio ambiente y otras áreas. En tanto sociedad democrática, es esencial que trabajemos diligentemente para maximizar estos beneficios al tiempo de mantener algunas tendencias bajo control. El nanopanopticismo es un verdadero peligro real. Para reducirlo, las siguientes recomendaciones se ofrecen:

- Nuevas agencias de regulación requieren ser establecidas para encargarse de la nanotecnología, tanto en Canadá, como en otras partes del mundo. Es difícil que las agencias existentes puedan lidiar adecuadamente con los tremendos cambios que vienen del desarrollo de la nanotecnología. Dichas agencias no deben estar ligadas a la promoción de esta tecnología al mismo tiempo que la regulan (*e.g.* los problemas que surgieron con el Atomic Energy Control Board con la energía nuclear y el Canadian Food Inspection Agency con los alimentos genéticamente modificados).
- Deben desarrollarse fuertes leyes de protección de la privacidad. Estas leyes deben considerar cómo lidiar mejor con las diferencias que a menudo existen entre los sectores público y privado.
- La industria necesita considerar cómo códigos éticos de conducta pueden ser reelaborados para incluir medidas que reduzcan activamente el riesgo del nanopanopticismo.
- La consulta pública sobre el futuro de la nanotecnología es esencial. Dicha consulta no sólo debe examinar los temas generales sino también considerar las aplicaciones específicas de la nanotecnología y anticipar sus impactos sociales.

- Los científicos deben ser más conscientes sobre el hecho de que la tecnología no existe en el vacío. Al comienzo de su formación, los científicos deben ser proveídos con antecedentes en historia y filosofía de la ciencia, ética y sociología de la ciencia y del conocimiento. Cursos adicionales sobre manejo de cuestiones de riesgo y de evaluación de impacto social pueden ayudar a redondear la educación de los científicos, potenciando sus habilidades para comunicarse con el público de manera que tenga sentido y le permita participar más decididamente en el desarrollo de la política pública.

Finalmente, la nanotecnología hará que las revoluciones que ya hemos visto en información, tecnología y biotecnología parezcan insignificantes. Este conjunto de tecnologías prometen reescribir la manera en la cual entendemos la naturaleza fundamental de la material. Estos cambios pondrán retos a los individuos y a mucho tipo de instituciones. Mayores recursos sociales necesitan ser adscritos para examinar estos impactos antes que las cosas se nos vayan de las manos.

## Bibliografía

- AJAYAN, P., J. Charlier y A. Rinzler (1999), "Carbon Nanotubes: From Macromolecules to Nanotechnology", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96 (25), pp. 14199-14200.
- COLEMAN, J. (1988), "Social Capital in the Creation of Human Capital", *American Journal of Sociology* (Supplement), 94, pp. S95-S120.
- FOUCAULT, Michel (1977), *Discipline and Punish: The Birth of the Prison*, traducido del francés por A. Sheridan, Nueva York, Pantheon Books.
- LYON, D. (2001), *Surveillance Society: Monitoring Everyday Life*, Buckingham, Inglaterra, Open University Press.
- MAYO, Elton (1933), *The Human Problems of an Industrial Civilization*, Nueva York, Viking.
- MEHTA, Michael y E. Darier (1998), "Virtual Control and Disciplining on the Internet: Electronic Governmentality in the New Wired World", *The Information Society*, 14(2), pp. 107-116.
- MOONEY, Paul (1999), "The ETC Century: Erosion, Technological Transformation and Corporate Concentration in the 21<sup>st</sup> Century", *Development Dialogue*, 1-2, p. 44.
- NANOMAGNETICS (2002), NanoMagnetics grows..., "Comunicado de prensa, [http://www.nanomagnetics.com/navi/frm\\_technology.html](http://www.nanomagnetics.com/navi/frm_technology.html) Consultado el 10. de noviembre de 2002.

- ROETHLISBERGER, R. Y W. Dickson (1939), *Management and the Worker*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- STEPHENSON, J. (1999), "Lab-on-a-Chip Shows Promise in Defining and Diagnosing", *Cancers, Journal of the American Medical Association*, 282 (19), pp. 1801-1802.
- TIFAC (s/f), Photoelectricity in Silicon Nanocrystal, comunicado de prensa, <http://www.tifac.org.in/offer/tsw/japnano.htm#photowww.tifac.org.in> Consultado el 1o. de noviembre de 2002.
- UNIVERSITY OF SASKATCHEWAN COMMUNICATIONS (2002), Developers of a "Molecular Wire" Win Innovation Award, comunicado de prensa, 17 de mayo de 2002, University of Saskatchewan. <http://www.usask.ca/events/news/articles/20020515-2.html> Consultado el 1o. de noviembre de 2002.



# Cuando los gnomos vienen marchando Implicaciones de la nanobiotecnología

Guillermo Foladori y Noela Invernizzi

### Introducción

LOS PRODUCTOS de la nanotecnología ya abarcan desde el calzado hasta los cosméticos, y de la aeronáutica a las llantas de automóviles (*Forbes*, 2004). En medicina se esperan laboratorios en chips (*lab-on-a-chip*) que con velocidad puedan hacer análisis de pruebas de sangre, mecanismos automáticos de distribución dentro del cuerpo de drogas anticáncer y bombas para suministrar insulina, terapias genéticas o implantes y prótesis con materiales nanoestructurados (Malsch, 2002). Si en las próximas décadas esta tecnología se difunde y vuelve hegemónica, como anuncian sus voceros, es posible que muchos aspectos de las relaciones económicas entre países, de la vida cotidiana, y de la relación de la sociedad con la naturaleza se modifiquen (Roco y Bainbridge, 2001). Pero, que existan cambios no significa que se cumplan las esperanzas que los visionarios de la nanotecnología divulgan, como una tecnología capaz de solucionar la mayoría de los problemas del mundo, al menos los relacionados con la alimentación, energía, agua potable, basura y salud, lo que no es poca cosa (*WiredNews*, 9 de septiembre de 2002).

Como resultado de recientes promesas no cumplidas, como las asociadas al supuesto beneficio de la energía nuclear o a los organismos genéticamente modificados, la nanotecnología ya ha despertado grandes controversias. Existen críticas sobre los posibles efectos de las nanopartículas sobre la salud o sobre el medio ambiente (ETC group, s/f). También hay preocupación sobre el efecto que tendrá esta tecnología en los países pobres y en la distribución de la riqueza (Foladori e Invernizzi, 2005). Las aplicaciones militares son de enorme preocupación, y han dado lugar a muchos artículos (Altmann y Gubrud, 2004; Delgado Ramos, capítulo 1 de este libro); y también lo son los posibles usos de los dispositivos nanotecnológicos de sensoreamiento y comunicación para el control de los individuos (Mehta, capítulo 5 de este libro).

A pesar que todavía hay quienes consideran que la tecnología es una cosa neutra, que puede ser utilizada para diferentes fines, la mayoría de los estudio-

sos de la tecnología reconocen que tecnología y sociedad coevolucionan, existiendo una interdependencia entre ambas (Sarewitz y Woodhouse, capítulo 7 de este libro). Cuando el grupo ETC (2004a), por ejemplo, sostiene que no puede esperarse mucho de la revolución de la nanotecnología porque está en manos de las grandes corporaciones multinacionales, está reflejando la idea de que la tecnología está condicionada por las relaciones sociales y de poder de las cuales nace.

En este capítulo argumentamos que la nanotecnología lleva en su propio diseño los “genes” del contexto social en que fue creada, reforzando las relaciones sociales preexistentes (Sarewitz *et al.*, 2004). Ejemplificando con la nanobiotecnología, argumentamos que los nanoproductos están orientados a estrechar la dependencia del consumidor respecto del mercado.

### La neutralidad de la tecnología es sólo relativa, si lo es

Se dice que en el año 1 d.C. Herón de Alejandría inventó la *aeolipile*, primera máquina de vapor. Fue diseñada y exhibida para abrir las puertas de un templo, pero no fue aplicada a la producción. También inventó máquinas hidráulicas y diversos instrumentos. Presumiblemente sólo los de guerra fueron aplicados. Los estudiosos de la tecnología distinguen el invento de la innovación; esta última requiere la aplicación práctica del invento a diversas ramas de la economía. Los antiguos griegos realizaron muchos inventos, pero pocas innovaciones. Los grandes filósofos, como Platón y Aristóteles explicaron esto de forma simple: no es digno crear instrumentos que van a ser usados por esclavos. El desarrollo de la tecnología era incompatible con el trabajo esclavo (Anderson, 1979, Dierckxsens, 1983).<sup>1</sup>

Nadie duda que la tecnología tenga tremendos impactos en la sociedad. Es común, sin embargo, pensar que la tecnología es algo separado de la sociedad y que la impacta desde fuera. Como actualmente muchos avances científicos son desarrollados en instituciones públicas, pareciera que pueden ser utilizados en cualquier contexto social, o por lo menos que son política y económicamente neutros. Este es el caso de la nanotecnología. Hasta principios de 2005 el grueso del financiamiento para la investigación en nanotecnología provenía de fondos públicos (NanoxChange, 2004), por lo que parece no ser una necesidad de la gente, ni una demanda del mercado (*market pull*), sino una presión de la cien-

<sup>1</sup>“Para varios escritores la mejora técnica está acompañada de declinación moral y una sospecha de que el avance intelectual y técnico... lleva a la oposición al progreso [escribe Beagon]. Séneca puede ver y aprobar los avances en la ciencia pura, pero la ciencia aplicada es pernicioso. Criticaba cualquier descubrimiento hecho por la mente dirigido hacia la tierra. Un contraste implícito a las observaciones celestiales de los filósofos” (Beagon, 1992: 57).

cia (*science push*) (Wilsdon y Willis, 2004). Inclusive los estudios de los potenciales impactos sociales de la nanotecnología han sido una imposición de arriba hacia abajo (Bennett y Sarewitz, 2005).

Sin embargo, la imagen de que la tecnología es algo neutro y resultado de inventores bienintencionados no se sostiene. Los antiguos griegos diseñaron instrumentos de trabajo toscos y pesados porque los esclavos no tenían ningún interés en conservarlos y los maltrataban y destruían. En el diseño de los instrumentos podía leerse la marca de las relaciones sociales que los crearon. Las relaciones de esclavitud impidieron que los inventos fuesen generalizados como innovaciones técnicas, y frenaron el desarrollo de las fuerzas productivas. No solamente la tecnología y la sociedad coevolucionan, sino que la tecnología lleva en su diseño los "genes" de las relaciones sociales que les dieron a la luz.

Aquellos que piensan que la tecnología es algo neutro y externo a las contradicciones sociales tampoco están totalmente desorientados. Hay muchas razones para pensar que la tecnología evoluciona independientemente del contexto social y, una vez generalizada, transforma la sociedad. Para comenzar es útil pensar la producción de instrumentos en su forma más genérica, como objetivación de parte de la naturaleza externa con fines de uso futuro.

Mientras el resto de los seres vivos asume la naturaleza de manera inmediata, utilizando los recursos en la medida de la necesidad, el ser humano transforma la naturaleza para usos futuros. De esta manera el producto del trabajo humano se distancia del productor y pasa a adquirir autonomía. Lo que antes era naturaleza, se objetiva. El ser humano se convierte en sujeto de una naturaleza que es su objeto. Este proceso de objetivación presenta varias facetas:

- El producto del trabajo u objeto se separa en el tiempo y en el espacio de quien lo creó. Una cosa es la producción, otra el uso. Esto permite la comparación permanente entre el diseño mental y el resultado final. El productor reflexiona permanentemente sobre las imperfecciones del útil en el cumplimiento de su función. Esta es la base histórica del creciente perfeccionamiento del útil en función de la necesidad.
- La objetivación se expande idealmente a la naturaleza no tocada. El ser humano se distancia reflexivamente del resto de la naturaleza, y la pasa a contemplar como un "juego de armar", posible de reordenar a voluntad.
- El objeto imprime condiciones a quien lo usa, tanto por los materiales, por la función, o la forma de manipularlo. Con ello los instrumentos adquieren una cierta vida propia. Primero, reproduciendo un estado de comportamiento con el medio. El transporte mediante animales de carga, por ejemplo, implica un tiempo, caminos, equipos de reposición, etcétera, totalmente diferentes al transporte carretero. Segundo, reproduciendo un es-

tado de relaciones sociales. La división técnica del trabajo, por ejemplo, está impuesta por el tipo de maquinaria y de materia prima en cada proceso laboral, pero ella, al aplicarse, reproduce particulares jerarquías y medios de control entre los trabajadores. Tercero, influyendo en el condicionamiento físico de la persona, lo que queda claramente expuesto en las distintas enfermedades laborales. La técnica pareciera impactar a la sociedad como una fuerza sobrenatural.

- El objeto creado es un nuevo objeto, esto es, algo que no existía de esa forma con anterioridad. Ello genera nuevas interconexiones con el resto de la naturaleza y la vida humana. Se trata de interconexiones imposibles de prever en su totalidad antes de la fabricación. Surgen así resultados imprevistos y otro argumento para pensar en la tecnología como un ente con vida propia.
- El objeto se convierte en un valor de uso, perdiendo su naturalidad. Todos los objetos útiles son producidos a partir de materia brindada por la naturaleza. Pero una vez que el ser humano la cambia de forma, y convierte en un objeto útil, su materialidad natural deja de importar. Una silla de madera es, ante todo, una silla. Tan pronto se rompe o deteriora, y su utilidad desaparece, la materia de la cual se compone pierde interés. De esta forma los objetos producidos por el ser humano tienen un ciclo de vida: primero se separan de la naturaleza de donde su material fue obtenido, luego se transforman en un objeto útil para la satisfacción de necesidades humanas; luego, cuando dejan de ser útiles, se convierten en cadáver, distanciándose ahora también de la sociedad humana que le dio a luz. El ciclo de vida identifica a la tecnología con cualquier organismo, reforzando la imagen de autonomía.

A seguir, es útil pensar la técnica en su aplicación cotidiana y en el contexto de la sociedad en que vivimos. También de estas determinaciones surgen fuerzas que hacen pensar que la tecnología es algo independiente, casi con vida propia, que se impone y moldea la sociedad.

- El instrumento está separado del sujeto que lo emplea, de manera que puede ser utilizado indistintamente por diferentes personas y en diferentes contextos. Se presenta con independencia propia.
- Buena parte de los avances en ciencia y tecnología que dieron lugar a nuevas tecnologías fueron inventados en universidades o centros públicos de investigación y no necesariamente en empresas privadas; esto permite suponer que sólo había un interés de utilidad pública en su creación.
- Los instrumentos, máquinas, etcétera, pueden ser libremente comprados en el mercado, lo cual refuerza la idea de que cualquier persona puede, eventualmente, beneficiarse de sus capacidades.

- Muchos de los resultados imprevistos perjudiciales, como las catástrofes ambientales, afectan a la población en su conjunto, con independencia de las relaciones de propiedad o uso de los instrumentos o procesos. La tecnología discreta encierra un riesgo global (Beck, 1992). Lo cual muestra el carácter externo y generalizador de la tecnología.

Pero, así como hay argumentos para pensar que la tecnología es un ente externo, con una dinámica y vida propias, también hay argumentos para mostrar que en su propio diseño la tecnología está reproduciendo las relaciones sociales que le dieron origen. Esto ocurre en todas las épocas económicas, con mayor o menor claridad. Se trata de un proceso de selección, que muchos autores comparan con el propio proceso de selección natural (Hodgson, 1995). Hay, no obstante, importantes diferencias. Por un lado, está la diferencia de quién realiza la selección. Mientras en la evolución de la naturaleza la selección es resultado de la reproducción de las especies en un contexto de lucha y cooperación interespecífica, intraespecífica y con el medio abiótico y los elementos, en el caso de la selección de la tecnología son básicamente las relaciones sociales –y el mercado en el caso del capitalismo– quienes filtran, aunque como tendencia y nunca de manera inmediata o absoluta, aquellas tecnologías que terminan imponiéndose en una trayectoria tecnológica y expresándose científicamente de manera paradigmática (Kuhn, 1962). Por otro lado está la diferencia en la severidad de la selección. Mientras la selección natural no lleva a una actitud maximalista (Gould, 1993; Hodgson, 1995),<sup>2</sup> sino solamente tolerante, el capitalismo, en su caso, es despiadado en cancelar las trayectorias productivas que no se ajustan a su dinámica (Luxemburg, 2003). Esta última distinción es de la mayor importancia para el análisis de la nanotecnología, ya que algunos autores suponen que la hibridación del cuerpo humano con nanoprodutos significa un paso en la evolución, con lo cual pasan a imponer leyes de la economía capitalista al comportamiento biológico (García-Rill, 2002; Llinás y Makarov, 2002). Mientras la evolución natural es un proceso lento, la tecnología puede dar saltos importantes, como lo que ocurre con las llamadas tecnologías disruptivas, que convierten en obsoletas trayectorias tecnológicas competitivas. La nanotecnología promete ser uno de estos tipos de tecnología. Por último, en la evolución natural las divergencias (separación de especies) no tienen ulterior unión, en la evolución tecnológica las distintas ramas tienden a juntarse; la nanotecnología es un ejemplo paradigmático de esta unión entre ciencias de la computación, cognitivas, biológicas, químicas, físicas y otras (Carroll, 2001).

<sup>2</sup>La escuela ultradarwinista en biología y la neoclásica en economía suponen que todo proceso de evolución es maximalista. Véase Hodgson (1995) y Foladori (2005) para una revisión comparativa de las teorías de la evolución en biología y en economía.

Si prestamos atención a las características de la tecnología capitalista, veremos algunas constantes que tienden a repetirse y hasta profundizarse, se trata de elementos que superan los filtros, y que las tecnologías exitosas conllevan. Estos elementos son indicadores de la “marca de origen” que la tecnología lleva y que responde a las relaciones sociales que le dieron origen.

- Uno de estos elementos es la medida en que su diseño se adapta al funcionamiento del mercado. Siempre existen varios caminos para un objetivo general, pero aquel cuyo diseño mejor se adapta al mercado corre con ventajas. Para favorecer el circuito mercantil el objeto debe ser mejor que su competencia en un sinnúmero de características, entre las cuales están: debe ofrecerse un objeto vendible, de manera de que el consumidor pueda, por sí mismo, obtener en el mercado lo que satisface su necesidad. Tiene que tener el menor tamaño posible, para abaratar el transporte y almacenamiento. Tiene que ser lo menos perecedero posible, para facilitar su distribución. No debe ser fácil de reproducir, para impedir la autoproducción o las copias. Sólo la forma de consumo o uso de la mercancía debe divulgarse, nunca la forma de su fabricación o dispositivos internos, de manera que el cliente esté atado a quien le vendió el producto para fines de reparación, reposición, partes, etcétera. Tiene que desgastarse rápido, para poder ser sustituido por nuevos productos, y agilizar así la rotación del capital. Todo esto, además, de tener algún grado de eficiencia para cumplir con el uso prometido.
- Productos que poseen patente representan ganancias monopólicas y son mejores que productos que no pueden patentarse. Esta diferencia es de la mayor importancia en los productos farmacéuticos.

Toda rama de la economía tiene sus particularidades, derivadas del objeto con el cual trabaja. Lo cual hace que las características de mejor “adaptación” al mercado tengan su especificidad. La mecanización agrícola generalizada, por ejemplo, es posterior a la industria automotriz, por la simple razón que necesitó transformar autos en tractores, y adaptar los primeros a una superficie irregular y de diferente resistencia, al mismo tiempo que acondicionar el trabajo de roturación del suelo, siembra, limpia o cosecha a las peculiaridades de cada vegetal. La medicina tiene muchas particularidades, siendo la más general el hecho de que cada organismo es diferente al resto, y diferente a sí mismo en distintas etapas y hasta minutos de su vida. Pero, además, tiene la particularidad de que el organismo reacciona frente a las enfermedades desarrollando anticuerpos, de manera que la medicina se enfrenta a un competidor interno con siglos de experiencia evolutiva, el propio organismo. Sin embargo, los me-

dicamentos que pueden ser vendidos masiva y directamente al consumidor son mejores –mercantilmente hablando– que los remedios individualizados y que los servicios personales. Veamos estas particularidades en la comparación entre la biomedicina, la homeopatía y la acupuntura.

En *biomedicina* el remedio puede ser claramente separado del servicio del médico, y también comprado directamente por el enfermo. La medicina es estandarizada y el enfermo puede evitar al médico comprándola directamente. En la *acupuntura* no hay medicina. El servicio personal del médico no puede ser evitado. La *homeopatía* se ubica entre ambos: la práctica del médico es necesaria porque la medicina es individualizada, de manera que las posibilidades del enfermo de comprar los remedios directamente no son tan simples como en la biomedicina.<sup>3</sup> Aparte de estas diferencias está la cuestión de las patentes. Medicinas ya conocidas no pueden ser patentadas. Ni la acupuntura ni la homeopatía pueden tener patentes como sí la biomedicina. El cuadro 1 ilustra estas diferencias.

CUADRO 1  
RELACIONES ENTRE LA TERAPIA Y LA VIABILIDAD DE MERCADO

<i>Tipo de terapia</i>	<i>Producto final</i>	<i>Característica del producto</i>	<i>El conocimiento científico de las propiedades del producto queda en:</i>	<i>Patentes</i>
Biomedicina	Mercantil	Masivo	La farmacéutica y débil en el médico	Sí
Homeopatía	Mercantil	Individualizado	La farmacéutica y fuerte en el médico	No
Acupuntura	Servicio	Individualizado como servicio	El médico	No

El cuadro muestra la intrincada relación entre el proceso de producción-circulación-consumo y las relaciones sociales capitalistas. Las filosofías holistas de la medicina complementaria y alternativa no son relegadas debido a su dudosa efectividad, es el mercado quien elige trayectorias tecnológicas que pueden ser fácilmente subsumidas a su funcionamiento. El mercado no es neutro.

Otra esfera de competencia ocurre a nivel del propio método terapéutico. También el método es sometido a escrutinio por el mercado. En términos generales puede decirse que existen dos filosofías de curación, por detrás de las distintas terapias. Una pretende apoyarse en las propias defensas del individuo, para fortalecerlas. La otra busca, de manera independiente a los sistemas

<sup>3</sup>Las escuelas homeopáticas que combinan varios medicamentos en uno llegan más fácilmente al mercado.

de inmunidad y defensa, combatir la enfermedad. La homeopatía o la acupuntura son ejemplos de la primera filosofía, la moderna biomedicina es un ejemplo de la segunda.

Tomemos el caso de los antibióticos, adalid de la biomedicina moderna. Éstos no están dirigidos a desarrollar los anticuerpos, ni a fortalecer la inmunidad interna, sino a combatir las bacterias causantes de la enfermedad. La propia terminología de la biomedicina, hoy en día generalizada, es totalmente bélica: las enfermedades se *combaten*; una de las principales *armas* son los antibióticos; hay que *atacar* las enfermedades antes que se conviertan en epidémicas. ¡Qué mejor imagen de un método por oposición! La acupuntura u homeopatía, al contrario, rememoran la magia por semejanza ya que en ambos casos el método tiende a fortalecer el equilibrio interno y desarrollar los anticuerpos.

El caso de las vacunas, un producto de la moderna biomedicina, es diferente y contradictorio; porque por un lado pretende desarrollar los anticuerpos pero, al introducir material genético de otras especies desarrolla otro tipo de resultados imprevisibles. De cualquier manera las vacunas no son la punta de lanza de la biomedicina, porque su diseño no corresponde plenamente a los intereses del mercado. A pesar que cuando un Estado impone una vacunación de manera masiva, crea un jugoso mercado, la vacuna se da una o algunas veces en la vida de las personas, mientras los remedios que deben de ser tomados regularmente son más redituables: “La gran cosa sobre los fármacos contra el SIDA es que tienes que tomarlos permanentemente” [The great thing about AIDS drugs is you have to keep taking them] reportó un ejecutivo de una importante corporación farmacéutica (Gellman, 2000). Ello, sin contar con la dificultad de almacenamiento y transporte de muchas vacunas, elementos también contrarios a un diseño acorde con el espíritu mercantil.

Los antibióticos, por su parte, se han constituido en paladín de la medicina en la segunda mitad del siglo XX, por la simple razón de su diseño corresponder más estrechamente que el resto de las medicinas y terapias con los intereses capitalistas.<sup>4</sup> Casi todas sus características corresponden al ideal mercantil: suficientemente genéricas como para que pocos elementos curativos combatan una amplia gama de enfermedades, o sea, facilitan enormemente tanto la receta como el consumo. Son posibles de ser tomadas directamente por el paciente, comprándolas en la farmacia, y con independencia de la consulta al profesional de la salud. Son fáciles de transportar, almacenar e ingerir. Existe una amplia gama de alternativas, de manera que si una no da resultado siempre hay el recurso

<sup>4</sup>Es claro que la mayoría de los profesionales de la salud argumentarán que el éxito de los antibióticos radica en su eficiencia curativa. Esto no está demostrado, ya que existen muy pocos estudios comparativos de curación a partir de diferentes terapias, y los que hay, por lo general, colocan a los antibióticos en el peor lugar.



de aumentar los miligramos ingeridos o probar con un antibiótico de más amplio espectro. Pero, además de estas características muy pragmáticas existe otra razón de gran peso: los resultados indirectos del consumo de antibióticos. Es hoy en día ampliamente aceptado que el consumo sistemático de antibióticos reduce la inmunidad del organismo. La pérdida de la inmunidad obliga a la persona a consumir más y más antibióticos, en una carrera sin fin, para bien de la industria farmacéutica.

La resistencia de los microbios a los antibióticos se conoce desde hace 50 años, cuando apareció el *Staphylococcus aureus* resistente a la penicilina (NIAID, 2000). El *boom* en la producción y uso de antibióticos, tanto para destino animal como humano, ha incrementado la resistencia y creado una alarma pública mundial a mediados de los noventa. El 7 de marzo de 1994 la revista *Newsweek* publicaba un artículo llamado *The End of Antibiotics?* (Begley y Brant, 1994). La portada del número 12 de septiembre de 1994 de la revista *Times Magazine* rotulaba “Revenge of the killer microbes”, y en uno de los artículos mencionaba el reto que las bacterias resistentes a las multidrogas significaba. Ya en 1992, 13,300 pacientes de hospitales murieron en los Estados Unidos por bacterias resistentes a las multidrogas (*whyfiles*). Hoy en día existen cepas resistentes a los antibióticos para todos las principales enfermedades (ACF, 2003; NIAID, 2000). Las corporaciones farmacéuticas reaccionan produciendo antibióticos más fuertes y de espectro más amplio –*cephalosporins* y *fluoroquinolones*–, con lo cual crean supermicrobios cada vez más fuertes y resistentes (Wise *et al.*, 1998).

Esta carrera sin fin ha alcanzado sus límites intrínsecos. El signo de que la trayectoria tecnológica de los antibióticos está muriendo proviene directamente de las corporaciones farmacéuticas. Sólo dos antibióticos con mecanismos de acción novedosos han sido aprobados desde 1998. Algunas empresas, como Eli Lilly and Co., o Roche Holding AG están abandonando la producción de antibióticos. Otras están reduciendo sus inversiones. La razón es la rápida adaptación de los microbios a los antibióticos (Hirschler y Pierson, 2004). El costo de desarrollar una nueva droga puede ser más de 500 millones de dólares (Kettler, 2002). Esta suma debe ser recuperada durante la vida de la patente de 20 años. Durante los primeros 12 años la empresa recupera sus costos. Los últimos ocho son años de ganancia (Grabowski y Vernon, 1994). Los problemas surgen cuando los microbios se adaptan a los antibióticos durante los primeros 12 años. Una vez que la medicina no sirve, la empresa no vende y no obtiene ganancia, inclusive puede no recuperar sus costos. Esto parece ser la situación normal, ya que los microbios se están adaptando cada vez más rápido. Además, el sobre-uso de antibióticos incrementa el ritmo de la selección microbiana, la mutación y resistencia. Un círculo vicioso se forma: las corporaciones farmacéuticas necesitan vender más antibióticos, el incremento en su consumo acelera la resisten-

cia por parte de los microbios y la resistencia hace a los antibióticos inútiles. A tal extremo es esto reconocido que la industria farmacéutica espera con ansiedad la medicina genética, ajustada a las características de cada individuo.

Es claro que tanto el método terapéutico, como el tipo de medicina llevan, en su diseño, el carácter de las relaciones sociales que le dieron origen. El resultado es una medicina con una orientación claramente clasista. Entre Norteamérica, Japón y Europa, que suman el 23 por ciento de la población mundial, está concentrado el 80 por ciento del mercado de drogas, mientras que la mayoría de los países de menores ingresos no tiene una buena cobertura de medicamentos, sea porque no tienen dinero para comprarlos, sea porque no existen medicamentos para las principales enfermedades que afectan los países pobres (MSF-DND, 2001). A las corporaciones farmacéuticas no les interesa investigar en enfermedades de los pobres; según un reporte de Médicos sin Fronteras, entre 1972 y 1997, cerca de 1,450 nuevas drogas (nuevas entidades químicas) fueron comercializadas. Pero, de ellas, sólo 13 eran para tratar enfermedades tropicales transmisibles y consideradas como esenciales según el modelo de la Organización Mundial de la Salud. Dos de esas 13 eran versiones actualizadas de otras ya existentes, dos eran resultado de investigación militar, cinco fueron resultado de investigaciones veterinarias, una derivaba de la farmacopea china. De manera que sólo tres pueden ser consideradas como genuinos productos de investigación y desarrollo de las compañías farmacéuticas occidentales (Trouiller *et al.*, 1999).

Las medicinas complementarias y alternativas no se adaptan de igual forma al mercado y no pueden ser seleccionadas, a pesar de la demanda de los consumidores (Fisher y Ward, 1994; Eisenberg *et al.*, 1998) o de los estudiantes de medicina (Lundberg *et al.*, 1998). No es de sorprender la infatigable oposición política, jurídica, y académica de la biomedicina hegemónica a las medicinas alternativas (Marwick, 1994); y tampoco que el Instituto de Medicina Complementaria y Alternativa sólo haya recibido el 0.42 por ciento del presupuesto de los National Institutes of Health de los Estados Unidos en 2003 (AAAS, 2003). A pesar de las brechas que existen entre la investigación y desarrollo en medicinas de pobres y de ricos, y a pesar de la bancarrota de los antibióticos, la nueva trayectoria tecnológica en materia biomédica sólo se impondrá una vez que las nuevas tecnologías rindan mayores ganancias que las viejas; la nanobiotecnología es la esperanza.

### **La nanobiotecnología lleva en su diseño la impronta del mercado capitalista**

La nanotecnología es la manipulación directa de los átomos y moléculas para formar productos (RSYRAE, 2004). Esta manipulación crea sistemas funcionales

con nuevas cualidades, debido a la combinación controlada de sus subunidades (Schmid *et al.*, 2003). Las propiedades de la materia trabajada a nanoescala no son iguales a las propiedades de la misma materia en el mundo macro; esto explica que la nanotecnología no sea una simple continuación de tendencias anteriores a la miniaturización o a la robotización, sino que implique el comienzo de una nueva trayectoria tecnológica, cuyo futuro es aún incierto pero promisorio. La miniaturización encuentra sus límites cuando se emplea una determinada tecnología. La impresión de cada vez más circuitos en los chips se enfrenta, por ejemplo, al cambio de propiedades de la materia que deviene de la miniaturización, con lo cual la corriente puede debilitarse. Es necesario contar con materiales con nuevas propiedades, y la nanotecnología puede ofrecerlo, superando la antigua traba físico-técnica. A diferencia del procedimiento hasta ahora convencional de comenzar por la materia física tal como viene dada en la naturaleza, según sus estructuras propias de unión, y reducirla al tamaño de los objetos de uso –proceso *top-down*, la nanotecnología propone construir de lo más pequeño (átomos y moléculas) a lo más grande (producto final)– proceso *bottom-up*.

Otra característica distintiva de la nanotecnología deriva del nivel atómico y molecular en que trabaja. A ese nivel no hay diferencia entre la materia biótica y la abiótica, de manera que resulta potencialmente posible aplicar procedimientos biológicos a los procesos materiales, o interferir con materiales en los cuerpos vivos, adaptando estos últimos a determinados fines u ofreciendo ventajas particulares, o también crear vida artificial para desempeñar funciones específicas. Esta peculiaridad hace que los entusiastas de la nanobiotecnología supongan que la implantación de nanopartículas sintéticas en el organismo no generará reacciones o defensas.<sup>5</sup>

A pesar que pueda ser teóricamente posible construir un tostador átomo por átomo, es prácticamente inviable por el tiempo que llevaría; al menos hasta que la nanotecnología alcance la producción de máquinas autorreplicables y autoproducidas, lo que no constituye uno de los resultados más inmediatos de esta nueva revolución tecnológica. De manera que, desde el punto de vista práctico, la mayor aplicación de la nanotecnología será en la combinación de nanoproductos con productos convencionales, o bien la utilización de nanoproductos directamente, allí donde es posible. La nanobiotecnología es un campo fértil, ya que muchos de sus dispositivos se utilizan en tamaño de nanoescala, como es la incorporación de materiales no vivos en organismos vivos con el propósito de suministro de medicamentos o monitoreo de la química sanguínea, la creación de materiales sintéticos con componentes biológicos como en

<sup>5</sup>“La Nanobiotecnología es definida como el campo que aplica los principios y técnicas de la nanoescala para entender y transformar biosistemas (vivos y no vivos) y que usa principios y materiales biológicos para crear nuevos dispositivos y servicios integrados desde la nanoescala” (Roco, 2003: 337).

tejidos híbridos, o la creación artificial de vida para desempeñar funciones industriales (como los microorganismos que se alimentan de desechos, de gases de efecto invernadero, etcétera (grupo ETC, 2004b).

La National Science Foundation de los Estados Unidos (2000) realizó un panel interdisciplinario para estudiar las potencialidades y posibles impactos de la nanotecnología. El grupo de trabajo llamado “Mejoramiento de la salud humana y las capacidades físicas” detectó las siguientes seis nanotecnologías como de alta prioridad. Una síntesis puede verse en el cuadro 2.

De las tres grandes áreas de interés para la nanobiotecnología (diagnóstico, drogas y prótesis e implantes) (Malsch, 2002) las drogas y las prótesis e implantes son individualizados. Si existe un común denominador en las tecnologías y usos terapéuticos es el trato individualizado al paciente (Pilarski *et al.*, 2004). En todos los casos se trata de aplicar a un paciente determinados productos con nanocomponentes, o bien de experimentar con nanobiotecnología en características individualizadas. Bonadio, un entusiasta de la medicina genética, escribe:

La terapia de fármacos puede ser realmente personalizada: una vez que los patrones individuales de enfermedad son establecidos (*e.g.* vía tecnología sensorial), el paciente y médico pueden trabajar juntos en desarrollar un régimen racional y personalizado de pequeña administración molecular que se esperará que rinda confortables mejoras y mejor control de la enfermedad; esto a su vez bajará el costo de las enfermedades para la sociedad de los Estados Unidos (Bonadio, 2002: 180).

Esta terapia es totalmente diferente de las tradicionales drogas que se compran en las farmacias y son de consumo masivo. Es un cambio de la medicina masiva a la medicina individualizada según las características genéticas y hasta características derivadas de una determinada historia de comportamiento físico.<sup>6</sup>

Una de las grandes fallas de la biomedicina moderna ha sido su carácter generalizante;<sup>7</sup> y es esta la causa del auge de las terapias alternativas como la homeopatía o acupuntura, que son individualizantes. Aunque nos hemos acostumbrado a pensar que una medicina cura una enfermedad, la realidad es muy otra. Cada organismo es diferente a sus semejantes, a tal extremo que para una enfermedad identificada como igual pueden ser necesarias diferentes medicinas. Pero, la confusión arranca de más atrás. Debido al funcionamiento por oposición de la biomedicina, estamos acostumbrados a pensar que la enferme-

<sup>6</sup> La marca Bionova produce cosméticos personales, supuestamente ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (*Forbes*, 2004).

<sup>7</sup> Las farmacéuticas consideran que la toxicidad de un fármaco depende de la variedad genética individual, y buscan mediante la genética farmacológica individualizar el tratamiento (Heller, 2002).

CUADRO 2  
NANOTERAPIAS DE ALTA PRIORIDAD EN EL CAMPO BIOMÉDICO

<i>Tecnologías</i>	<i>Uso</i>	<i>Resultados</i>
<i>Nanobioprocador</i>	Sistemas que semejan el comportamiento humano, para probar medicamentos dirigidos a biomarcadores específicos.	Medicinas específicas para las células afectadas. Control de la enfermedad en sus primeras manifestaciones.
<i>Automonitoreo de funciones y disfunciones con nanoaplicativos nanosimplantados</i>	Permite probar y controlar funciones biológicas a nivel molecular. Es posible pensar en prótesis moleculares que pueden reparar o reemplazar componentes defectuosos en células. Otra función es la imagen intracelular, que puede hacer resaltar el mal funcionamiento de biomarcadores específicos. Este proceso podría ser rutinario y autocontrolado por el paciente en su casa.	Frenar el desarrollo de enfermedades e inclusive revertir procesos de desfuncionamiento biológico. Advertir variaciones en los biomarcadores como mecanismo de control diario. Retardar el proceso de envejecimiento y alargar la vida.
<i>Investigación e intervención de monitoreo y nanorrobots</i>	Nanorrobots multifuncionales que pueden monitorear el funcionamiento, por ejemplo, del cerebro. Nanorrobots que realicen cirugía y recuperación poscirugía.	Monitoreo del funcionamiento biológico y corrección de disfuncionalidades por medio de nanorrobots. Disminución del riesgo y efectos secundarios de las intervenciones debido a procedimientos menos invasores del cuerpo.
<i>Multimodalidades para vista y audición</i>	Aplicativos que corrijan, suplanten o complementen los procesos auditivos y visuales.	Incremento de las capacidades en personas con dificultades auditivas y visuales.
<i>Interfases cerebro-cerebro y cerebro-máquina</i>	Incorporación de nanomáquinas en el "espacio neuronal", de manera que el aplicativo funcione como una extensión del propio cuerpo y los sentidos. Posibilidad de diagnosticar desórdenes cerebrales.	Aumento de la sensibilidad, el desarrollo motor, cognitivo y comunicativo. Aplicativos implantados, en lugar de los tradicionales "periféricos", que puedan incrementar la memoria, la percepción, los sentidos.
<i>Ambientes virtuales</i>	Mecanismos que trascienden las limitaciones biológicas para sentir ambientes virtuales igual que los reales.	Uso educativo, para estudiantes de medicina, pero también para industria del turismo y el ocio.

Fuente: Elaboración propia a partir de Bonadio *et al.*, 2001.

dad es algo externo al organismo, y que lo ataca. Una vez identificado el “enemigo” se busca cómo extraerlo, matarlo o inutilizarlo. Sin embargo todo organismo está lleno de microbios en una dinámica de coevolución. Cuando ocurre un desequilibrio en el estado de salud lo que antes eran inquilinos inofensivos se pueden convertir en agresivos. Pero cada organismo reacciona de forma diferente y puede necesitar medicinas diferentes. Las terapias basadas en medicinas homogéneas administradas a partir de las manifestaciones de la enfermedad sólo se han sostenido por el casi completo monopolio científico, administrativo y político de la biomedicina en los países occidentales, y por la propaganda. Las corporaciones farmacéuticas lo saben claramente y depositan la esperanza en la medicina genética para poder dar el salto adelante y realizar tratamientos individualizados. Vale la pena esta larga cita del editor en jefe de *The Independent*.

El doctor Allen Roses, vicepresidente mundial de genética de GlaxoSmith-Kline (GSK), la gigante compañía farmacéutica británica, reconoció en un encuentro científico en Londres que menos de la mitad de los pacientes prescritos con algunos de los fármacos más caros no obtienen ningún beneficio: “La gran mayoría de los fármacos –más del 90 por ciento– sólo son efectivas en un 30 o 50 por ciento de la gente” dijo el doctor Roses.

.....

Es un secreto a gritos dentro de la industria de las drogas que la mayoría de sus productos son inefectivos en la mayoría de los pacientes, pero esta es la primera vez que un alto jefe de los fármacos lo ha hecho público.

.....

Los fármacos para la enfermedad de Alzheimer funcionan en menos de uno en tres pacientes, mientras que los de cáncer sólo son efectivos en un cuarto de los pacientes. Los fármacos para migrañas, osteoporosis y artritis funcionan en cerca de la mitad de los pacientes, dijo el doctor Roses. La mayoría de los fármacos funcionan en menos de uno en dos pacientes, principalmente porque quienes los reciben tienen genes que interfieren en alguna forma con la medicina, dijo.

“Yo no diría que la mayoría de los fármacos no funcionan. Diría que la mayoría funcionan en 30 a 50 por ciento de la gente. Los fármacos que están ahí fuera, en el mercado funcionan, pero no funcionan en cualquiera.” Esto va contra la cultura de mercado de la industria que ha descansado en vender la mayor cantidad de fármacos posibles al mayor número de pacientes –una cultura que ha hecho a GSK una de la compañías farmacéuticas más rentables, pero que también ha significado que la mayoría de sus drogas son, en el mejor de los casos, ineficaces, y aún posiblemente peligrosas para muchos pacientes (Connor, 2003).

La peculiaridad y esperanza de la nanotecnología es la individualización de la terapia. Por cierto que este hecho ya ha desatado varias críticas. Puede llegar a darse una profundización de la brecha entre los que pueden acceder a este tipo de tecnología y los que no pueden (Sarewitz y Woodhouse, capítulo 7 de este libro), lo que supone no sólo tener los recursos sino también vivir en un lugar donde se tenga acceso a este tipo de tratamiento; lejos está la gran mayoría de la población mundial. “Hoy hablamos de la «diferenciación digital», mañana será la «diferenciación de lo nano»” (Yonas y Picraux, 2001: 42-43).

También está el problema de los métodos, que suponen introducir en el individuo nanopartículas que, en principio, no serían reconocidas por el organismo como extrañas; podrían inclusive funcionar dispositivos sintéticos de forma híbrida. Pero, ¿y si con el correr del tiempo el organismo reacciona, quién se los quita?, ¿se están construyendo los antídotos en la misma velocidad que las terapias?, ¿serán las antinopartículas efectivas sin individualización?, ¿o, entraremos en una etapa en que la medicina será individualizada, pero el antídoto será generalizado, de manera que cuando ocurra una falla el antídoto sólo funcionara en un 30 o 50 por ciento de los casos?

Otra incertidumbre tiene que ver con el posible control “panóptico” de las personas, para hacer referencia al sistema de reclusión ideado por Jeremy Bentham y divulgado en el trabajo de Foucault (Mehta, capítulo 5 de este libro). Mehta explica que la combinación de la miniaturización de la tecnología de procesamiento de datos, de captación de información por sensores, inclusive con bases de fluidos que pueden navegar por el torrente sanguíneo, y de la necesidad del análisis individualizado que requerirá la nueva medicina podría convertir a la información personal en un instrumento utilizado con fines inciertos. Podría convertirse, por ejemplo, en un mecanismo de discriminación genética, con bases supuestamente científicas. Podría ser un instrumento para que las aseguradoras rechacen pacientes costosos de curar, o para establecer un criterio de cobro personalizado, lo cual agudizará aún más la diferencia en el acceso a los servicios de salud por parte de la población (Crow y Sarewitz, 2000; Sarewitz y Woodhouse, capítulo 7 de este libro). También podría tener otro tipo de implicaciones, como la creación de conocimiento psicológicamente perjudicial para los pacientes e implicados (*toxic knowledge*) (Tenner, 2001), o información que desarrolle riesgos psicológicos en los pacientes.

Tomemos el caso del cáncer, uno de los campos donde la nanotecnología más promete. Uno de los problemas en el diagnóstico y tratamiento del cáncer es el hecho de que las características de cada tipo de cáncer pueden ser muy diferentes, y también diferentes pueden ser las características de un mismo cáncer en diferentes etapas de su evolución (Pilarski *et al.*, 2004). Es aquí donde los nanorrobots tienen un papel destacado. Sería posible monitorear, en tiempo

real y a nivel celular, con un procedimiento poco invasor, y aplicar terapias con drogas específicas en cada caso. Pero, esto significa un seguimiento individualizado de cada paciente y una serie de interrogantes y riesgos sociales asociados. En la medida en que el seguro médico o el laboratorio tengan el mapa genético e historial clínico de cada paciente, también pueden saber en qué medida las drogas existentes pueden o no actuar sobre dicho caso, o podrían tener efectos secundarios. Basados en esta información pueden desechar al asegurado, si no existe una organización por parte de la sociedad que impida este tipo de desigualdad.

En la medida en que la nanobiotecnología se generalice en las prácticas de laboratorio y métodos terapéuticos, la imagen de que los problemas de salud pueden ser resueltos técnicamente va a reforzarse sustancialmente. El determinismo genético como ideología y práctica podrá reducir la comprensión de los parámetros de la salud (Keller, 2001; Morange, 2001, citados por Pilarski *et al.*, 2004). El solo hecho de tener un tratamiento individualizado de los pacientes, y de incorporar al organismo mecanismos de monitoreo automáticos, va a representar una novedad abrumadora. Como una consecuencia inevitable, el modelo de salud basado en las soluciones técnicas –modelo médico– se va a fortalecer. Pero los problemas de salud no son sólo ni necesariamente problemas médicos o técnicos, son también, y en primera instancia problemas sociales –modelo social.

Pongamos por caso las enfermedades infecciosas. El impacto de nuevas tecnologías como el aire acondicionado fomentó el desarrollo de la bacteria *Legionella*; el cambio en las cadenas alimenticias del ganado y las personas dieron base a la “vaca loca” *Bovine Spongiform Encephalopathy*, y a la variante llamada *Creutzfeldt-Jakob* en los humanos. Los cambios en el medio ambiente y en el uso del suelo, como la explotación de nuevas áreas agrícolas, forestales o mineras expandieron la *fiebre de Ébola*, o la *fiebre Lassa*. La contaminación de cursos o fuentes de agua facilitaron la expansión de la *Cryptosporidiosis*. El aumento del movimiento internacional de personas y mercancías puede haber expandido la malaria, el dengue, el SARS, la meningitis y otras. También el cambio climático permite la migración de vectores a nuevas áreas, transmitiendo la malaria, el dengue, o la fiebre amarilla. Ciertos cambios en el comportamiento humano, como en las relaciones sexuales, o el incremento en el consumo de drogas inyectadas, o el tatuaje pueden ayudar a la difusión de determinadas enfermedades infecciosas. El relajamiento de las medidas sanitarias por razones económicas o por considerar determinadas enfermedades erradicadas permite rápidos rebrotes, como la difteria, el cólera, etcétera. Las guerras devastan los ecosistemas, contaminan el ambiente, arrasan con los servicios de infraestructura y otros servicios creando las condiciones para la expansión de las enfermedades



infecciosas. El crecimiento urbano, el hacinamiento en ciudades sin eficientes sistemas de drenaje, agua potable y recolección de desechos, y el crecimiento de la pobreza en general constituyen una situación propicia para la expansión de las enfermedades infecciosas. En todos los casos, las causas últimas del surgimiento de epidemias no están en la irrupción novedosa de un microbio, sino en cambios socioeconómicos y también en el comportamiento individual. En situaciones de extrema pobreza, por ejemplo, una enfermedad erradicada por medios médico-técnicos como vacunas, o antibióticos, va a ser rápidamente reemplazada por otra (Evans *et al.*, 1994). Inclusive en lo que respecta a una enfermedad en particular el éxito del método médico es dudoso a nivel social. Excepto por la polio y la viruela, las enfermedades infecciosas en los Estados Unidos –y la mayoría de los países desarrollados– habían disminuido más del 90 por ciento antes de la vacunación masiva, y debido a mejoras en las condiciones sanitarias, de alimentación y de habitación (Dublin, 1948).

Existen muchos ejemplos de cómo la organización de la población y procesos de empoderamiento social son decisivos no solamente en medidas de salud preventiva, sino también como forma de apoyo psicológico que acelera la recuperación de los pacientes (Stoneburner y Low-Beer, 2004; Shin *et al.*, 2004; Harpham *et al.*, 2002).

El enfoque médico, conlleva, además, una tendencia a establecer diferenciaciones técnicas entre lo normal y lo patológico. Siendo el fin último del enfoque médico la cura de la enfermedad, la determinación de qué es normal y qué es patológico es, desde esa perspectiva, importante. La identificación de una relación entre el VIH (Virus de la Inmunodeficiencia Humana) y el SIDA (Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida) ha provocado una segregación social, preconcepciones hacia los infectados y una cultura del riesgo. No sin largas campañas y políticas públicas específicas ha sido posible revertir la segregación para integrar a los enfermos a la vida en sociedad. Ahora puede suceder algo similar con las deficiencias físicas. Una vez que la bionanotecnología comience a ser utilizada para “corregir defectos genéticos”, el concepto de normalidad se podría extender a todos aquellos que puedan ser “corregidos” generándose las bases de una nueva discriminación social (Wolbring, 2002). Inclusive esta redefinición de la normalidad puede convertirse en un proceso sin fin, si pensamos en la posibilidad de injertos híbridos que mejoren la memoria, audición, visión y otras cualidades físicas.<sup>8</sup> ¿Serán anormales quienes no dispongan del *chip* que

<sup>8</sup>“Es claro que recientes avances en nanotecnología pueden impactar significativamente el desarrollo de las interfases máquina-cerebro y dispositivos de neuroprótesis. Estableciendo lazos directos entre el tejido neuronal y las máquinas, estos dispositivos pueden expandir significativamente nuestra habilidad de usar actividad neuronal voluntaria para controlar directamente objetos mecánicos, electrónicos e inclusive virtuales como si fuesen extensiones de nuestros propios cuerpos” (Nicoletti, 2002).

encienda el gen transplantado del murciélago *Glossophaga soricina* que permite la visión ultravioleta? De no existir un proceso paralelo de toma de conciencia por la sociedad respecto de los límites de la técnica, el modelo médico puede prevalecer, facilitando, inclusive, la proliferación de mecanismos de segregación o diferenciación con base en un nuevo concepto de normalidad.

Que la bionanotecnología lleva incorporada la impronta capitalista queda de manifiesto en lo que puede preverse sea una mayor dependencia de los pacientes respecto de los laboratorios e industria farmacéutica. Mucha de esta tecnología supone introducir en el paciente nanopartículas. Esto ocurre en el caso del monitoreo, de la distribución de drogas en determinadas células u órganos, de las nanooperaciones, de la sustitución o hibridación de cuerpos sintéticos con el biológico, de la recuperación de tejidos, etcétera. ¿Podrá el paciente reclamar a médicos y laboratorios diferentes a los que le hicieron el implante, por efectos imprevistos de la actividad de determinadas nanopartículas que están confundidas con su propio cuerpo? Si las nanopartículas efectivamente se confunden en el organismo, ¿cómo puede reclamar el paciente de que fueron éstas las que le causaron la reacción negativa?, ¿podrán los laboratorios llevar al paciente a juicio argumentando difamación, ya que no hay rastros de nanopartículas en su organismo?, ¿y si la reacción aparece hasta 10 o 20 años después? En cualquier situación la pregunta que subyace es, ¿cómo se va a librar la persona de los gnomos?

Se considera que los nanosensores incorporados al cuerpo sean uno de los mayores avances de la nanobiotecnología. Dispositivos de diagnóstico que llegan hasta los puntos exactos de cuidado mediante sistemas biomicroelectromecánicos (biomems) podrán contener sensores, nanolaboratorios de análisis (*lab-on-a-chip*) y hasta realizar actividades a partir de estructuras mecánicas y electrónicas de silicón. Más allá de sus ventajas intrínsecas, estos dispositivos tendrán la virtud mercantil de hacer inútil buena parte del trabajo del médico (Berry, 2002), y centralizar actividades que hasta hoy son realizadas por distintas instituciones y laboratorios de análisis. También desde este enfoque la nanobiotecnología lleva la marca de agua de las relaciones de mercado que le dieron a luz.

Lejos estamos de la idea de libertad de la Revolución francesa; que era el reflejo político de la libertad de comprar y vender libremente en el mercado, que la burguesía de la época conquistó sobre las restricciones que la clase terrateniente imponía. Cada vez más la venta de los productos hace dependiente al comprador de quien le subministra el producto. Los servicios sucesivos serán monopolio de quien vendió. Algo semejante ya ocurre con las computadoras y los softwares. Una vez que se seleccionó un sistema operacional (Windows, Mactintosh etcétera.) el cliente quedó atado a sus actualizaciones. Esto, que siempre a sucedido con mayor o menor libertad de variación, ahora con la na-

notecnología tiende a ser un control absoluto, porque el Gnomo está dentro del cuerpo o del ambiente y se confunde con él.

La aplicación de nanosensores dentro del cuerpo humano permitirá la identificación temprana de modificaciones en los biomarcadores, con lo cual podrán tratarse las enfermedades en sus primeros síntomas. Esto creará una mayor demanda por análisis tempranos, y mayor dependencia de los laboratorios y las corporaciones farmacéuticas. Se generalizarán exámenes y terapias, muchas de las cuales serían innecesarias, ya que el propio cuerpo se hace cargo de superar la mayoría de los desequilibrios tan pronto surgen indicaciones (Sarewitz y Woodhouse, capítulo 7 de este libro). De manera que no sólo se controlará el cuerpo, sino se irá sustituyendo, paulatinamente, las funciones orgánicas naturales por funciones artificiales, compradas en el mercado. Por cierto que estos procesos harán disminuir aún más la inmunidad, y atarán crecientemente a los pacientes al sistema biomédico.

La mercantilización comenzó sustituyendo la gallina que criaba su bisabuela por los pollos congelados del supermercado. Luego sustituyó la ropa y los vestidos tejidos y cosidos a mano por los descuentos de sótano de las casas de departamentos; o el carruaje de su abuelo por el Ford T. Posteriormente sustituyó funciones orgánicas, con laxantes que ayudan a la naturaleza, y marcapasos para el ritmo cardíaco. Con los nanosensores usted ya no tendrá que preocuparse por sentir, algún miembro de la IFPMA<sup>9</sup> le venderá un controlador que llevará incorporado al reloj pulsera y le prenderá la luz roja cuando deba concentrarse en privado.

Resulta tragicómico, si es que nunca llega a ser sólo trágico, que los entusiastas de esta tecnología hablen de procedimientos menos invasores o invasiones benignas (*less invator, benign invasion*) porque suponen que la hibridación será perfecta y el organismo no reaccionará a los implantes. Lo trágico resulta que aunque logren ser menos invasoras del organismo (nivel individual), son más invasores de la persona (ser social). Ahora, el laboratorio o la empresa farmacéutica invaden a la persona misma, para atarla con injertos internos de los cuales no podrá deshacerse sin la voluntad de su captor.

## Conclusiones

Las revoluciones tecnológicas siempre han despertado posiciones encontradas respecto de sus implicaciones sociales. Para muchos el avance técnico es benéfico de por sí, pero esta es una visión superficial de los acontecimientos. La máquina a vapor, desarrollada durante la Revolución Industrial, sometió a un largo tormen-

<sup>9</sup>International Federation of Pharmaceutical Manufacturers y Associations.

to a los obreros. Los antibióticos aliviaron muchas vidas, pero también hicieron a las personas más vulnerables, y a los microbios más fuertes. El DDT sirvió para acabar con otros tantos microbios, pero persistió en el ambiente impactando la salud de humanos y otros seres vivos. La energía nuclear se proclamó cómo la solución energética limpia, pero los accidentes y resultados imprevistos la pusieron rápidamente en entredicho. Existe una gran controversia sobre los posibles impactos en la salud y el ambiente de los alimentos genéticamente modificados. Hoy el mundo está viendo cómo se afianza una nueva revolución tecnológica: la nanotecnología. Como en casos anteriores sus entusiastas voceros la proclaman como la solución para los males del mundo. Solución en áreas de gran preocupación y actualidad, como el medio ambiente, el agua o la salud. Construyendo molécula a molécula la nanotecnología promete no generar desperdicio. Controlando a nivel molecular promete limpiar la atmósfera y el agua. Introduciéndose y navegando dentro del cuerpo humano como lo puede hacer un virus, los nanocomponentes prometen alargar la vida (¡hasta en un 50 por ciento más!) con mecanismos que corrigen los males a nivel celular, restituyen el cuerpo y mucho más.

Que todo esto, y mucho más, pueda llegar a ser posible es, tal vez, sólo cuestión de tiempo. Pero una tecnología ni nace si se desarrolla en el vacío. El contexto social imprime al diseño de la técnica una marca particular, que favorece el desarrollo de las relaciones sociales hegemónicas, más allá de los resultados prácticos de la técnica. La nanobiotecnología aplicada a la medicina tiene la peculiaridad de que sus principales desarrollos conducen a un tratamiento individualizado del paciente. Esto, que desde el punto de vista médico es un gran avance frente a las medicinas de distribución masiva como los antibióticos, constituye una espada de doble filo. Primero porque puede fácilmente llevar a una aún mayor profundización de la división de la salud a nivel mundial. Sólo la población acomodada económicamente en los países ricos podrá utilizar esta tecnología. Segundo porque aún esos pacientes dichosos se verán sujetos a quienes les insertaron los gnomo-componentes en su cuerpo.

## Bibliografía

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (2003), *AAAS R&D Funding Update*. Available from: [www.aaas.org/spp/rd](http://www.aaas.org/spp/rd) Consultado el 17 de junio de 2003.
- ACP (American College of Physicians) (2003), Facts & Figures. [www.acponline.org/ear/factsfigs.htm](http://www.acponline.org/ear/factsfigs.htm) Consultado el 19 de junio de 2003.
- ALTMANN, Jurgen y Mark Gubrud, (2004), "Anticipating Military Nanotechnology", *IEEE Technology and Society Magazine*, 23 (4), Número editado por E.J. Woodhouse, pp. 33-40.

- ANDERSON, Perry (1996), *Passages from Antiquity to Feudalism*, Londres, Verso.
- BEAGON, Mary (1992), *Roman Nature. The Thought of Pliny the Elder*. New Cork. Clarendon Press.
- BECK, Ulrich (1992), *Risk Society: Towards a New Modernity*, Londres SAGE Pub.
- BEGLEY, S., y M. Brant (1994), "The end of antibiotics?", *Newsweek*, 7 de marzo de 1994.
- BENNETT, Ira y Daniel Sarewitz (2005), *Too Little, Too Late?: Research Policies on the Societal Implications of Nanotechnology in the United States*. (draft) January 2005. CSPO. ASU. [www.cspo.org](http://www.cspo.org) Consultado el 14 de marzo de 2005.
- BERRY, Suzanne (2002), "Honey I've shrunk biomedical technology!", *Trends in Biotechnology*, 20 (1), pp. 3-4.
- BONADIO, J. (2002), "Gene Therapy: Reinventing the Wheel or Useful Adjunct to Existing Paradigms?", en M.C Roco., y W.S. Bainbridge (eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. NSF/DOC-sponsored report, Arlington, National Science Foundation, <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- , L. Cauller, B. Chance, P. Connolly, E. García-Rill, R. Golledge, M. Heller, P.C. Johnson, K.A. Kang, A.P. Lee, R.R. Llinas, J.M. Loomis, V. Makarov, M.A.L. Nicolelis, L. Parsons, A. Pez, A.T. Pope, J. Watson y G. Wolbring (2001), "Improving Human Health and Physical Capabilities. Theme C. Summary", en M.C Roco., y W.S. Bainbridge (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. (Final Report from the Workshop Held at The National Science Foundation, sept. 28-29, 2000), <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- CARROLL, J.S. (2001), "Social Science Research Methods for Assessing Societal Implications of Nanotechnology", en M.C. Roco y W.S. Bainbridge (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology* (Final Report from the Workshop Held at the National Science Foundation, Sept. 28-29, 2000), pp. 188-193, <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- CONNOR, Steve (2003), "Our drugs do not work on most patients", *The Independent*, 8 de diciembre de 2003, <http://www.ahrp.org/infomail/03/12/08.php> Consultado el 18 de marzo de 2005.
- CROW, M. y D. Sarewitz (2000), "Nanotechnology and Societal Transformation", en M.C. Roco y W.S. Bainbridge, (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology* (Final Report from the Workshop Held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000), pp. 45-54. <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.

- DIERCKXSENS, Wim (1983), *Formaciones precapitalistas*, México, D.F., Editorial Nuestro Tiempo.
- DUBLIN, L. (1948), *Health Progress 1936-1945*, Nueva York, New York Metropolitan Life Insurance Co.
- EISENBERG, D., R.B. Davis, S. Ettner, y S. Appel (1998), "Trends in alternative medicine use in the United States, 1990-1997: Results of a follow-up national survey". *JAMA*, 280, pp. 1569-1575.
- ETC GROUP (2004a), Desde el Reino Unido, reporte sobre nanotecnología: más aciertos que errores. *Boletín de Prensa*, jueves 29 de julio de 2004. [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org) Consultado el 18 de marzo de 2005.
- (2004b), *La inmensidad de lo mínimo: breve introducción a las tecnologías de nanoescala*. [www.etcgroup.com](http://www.etcgroup.com) Consultado el 3 de enero de 2005.
- (s/f), Datos tomados de <http://www.organicconsumers.org/foodsafety/nanobrain040504.cfm> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- EVANS, R; M. Barer y T. Marmor (eds.) (1994), *Why are some people healthy and others not? The determinants of Health of Populations*, Nueva York, Aldine de Gruyter.
- FISHER, P., y A. Ward (1994), "Medicine in Europe: Complementary medicine in Europe", *British Medical Journal*, 309, pp. 107-111.
- FOLADORI, Guillermo (2005), "Una tipología del pensamiento ambientalista", en G. Foladori y N. Pierri, *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, México, D.F., Miguel Ángel Porrúa.
- y Noela Invernizzi (2005), *Nanotecnología: ¿beneficios para todos o mayor desigualdad? Redes*, 21, pp. 55-75.
- FORBES (2004), *Nanotech Report*, 3 (12), pp. 1-3, [www.forbesnanotech.com](http://www.forbesnanotech.com)
- GARCÍA-RILL, Edgar (2002), "Focusing the Possibilities of Nanotechnology for Cognitive Evolution and Human Performance", en M.C. Roco y W.S. Bainbridge (eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, NSF-/DOC-sponsored report, Arlington, National Science Foundation, pp. 201-206. <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- GELLMAN, B. (2000), "A turning point that left millions behind; drug discounts benefit few while protecting pharmaceutical companies' profits series: death watch: aids, drugs and Africa", *The Washington Post*, 28 de diciembre de 2000.
- GOULD, Stephen Jay (1993), *"Brontosaurus" y la nalga del ministro*, Barcelona, Crítica, Drakontos.
- GRABOWSKI, H., y J. Vernon (1994), "Return to R&D on new drug introductions in the 1980s", *Journal of Health Economics*, 13, pp. 383-406.
- HARPHAM, T., E. Grant y E. Thomas (2002), "Measuring social capital in health surveys: Key issues", *Health Policy & Planning*, 17 (1), pp. 106-111.

- HELLER, Michael (2002), "The Nano-Bio Connection and its Implications for Human Performance", en M.C. Roco, y W.S. Bainbridge (eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. NSF/DOC-sponsored report, Arlington, National Science Foundation, pp. 169-171, <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- HIRSCHLER, B. y R. Pierson (2004), "Lack of antibiotic research raises concerns", *Reuters*, <http://www.healthypages.net/newspage.asp?newsid=3999> Consultado el 2 de marzo de 2004.
- HODGSON, Geoffrey (1995), *Economía y evolución. Revitalizando la economía*, Madrid, Celeste.
- KELLER, E.F. (2001), *The century of the gene*. Cambridge, MA, Harvard University Press.
- KETTLER, H. (2002), "Updating the cost of a New Chemical Entity", *The Office of Health Economics*, [www.ohe.org/updating.htm](http://www.ohe.org/updating.htm) Consultado el 30 de noviembre de 2002.
- KUHN, T. S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, The University of Chicago Press.
- LLINÁS, Rodolfo y Valeri Makarov (2002), "Brain-Machine Interface via a Neurovascular Approach" en M.C. Roco, y W.S. Bainbridge, (eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, NSF/DOC-sponsored report, Arlington, National Science Foundation, pp. 216-222. <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- LUNDBERG, G., M. Paul y H. Fritz (1998), "A comparison of the opinions of experts and readers as to what topics a general medical journal (JAMA) should address", *JAMA*, 280 (3), pp. 288-290.
- LUXEMBURG, Rosa (2003), *The Accumulation of Capital*, Londres, Routledge.
- MALSCH, Ineke (2002), "Biomedical Applications of Nanotechnology", *The Industrial Physicist*, junio-julio, pp. 15-17, <http://www.aip.org/tip/INPHFA/vol-8/iss-3/p15.pdf> Consultado el 15 de marzo de 2005.
- MARWICK, C. (1994), "Advisory group insists on 'alternative' voice", *JAMA*, 272 (16), p. 1239.
- MORANGE, M. (2001), *The misunderstood gene*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- MSF-DND, Medecins Sans Frontiers-Drugs for Neglected Diseases Working Group (DND), (2001), *Fatal Imbalance. The crisis in research and development for drugs for neglected diseases*, Génova. [www.msf.org](http://www.msf.org)

- NANOXCHANGE (2004), "Nanoxchange. Lux Research Releases", *The Nanotech Report 2004, Key Findings*, <http://www.nanoxchange.com/NewsFinancial.asp?ID=264> Consultado el 12 de febrero de 2005.
- NIAID (National Institute of Allergy and Infectious Diseases) (2000), *Fact Sheet. Antimicrobial Resistance*. [www.niaid.nih.gov/factsheets/antimicro.htm](http://www.niaid.nih.gov/factsheets/antimicro.htm) Consultado el 20 de julio de 2003.
- NICOLELIS, M. (2001), "Human-Machine Interaction: Potential Impact of Nanotechnology in the design of Neuroprosthetic devices aimed at restoring or augmenting human performance", en M.C. Roco, y W.S. Bainbridge, (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. (Final Report from the Workshop Held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000). <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- PILARSKI, Linda, Michael Mehta, Timothy Caulfield, Karan Kaler y Christopher Backhouse (2004), "Microsystems and Nanoscience for Biomedical Applications: A View to the Future", *Bulletin of Science, Technology & Society*, 24 (1), pp. 40-45.
- ROCO, M. (2003), "Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine", *Current Opinion in Biotechnology*, 14, pp. 337-346.
- y W.S. Bainbridge (eds.) (2001). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, (Final Report from the Workshop Held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000), <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- RSYRAE (Royal Society & The Royal Academy of Engineering) (2004), *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, Londres, The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. [www.royalsoc.ac.uk/policy](http://www.royalsoc.ac.uk/policy) [www.raeng.org.uk](http://www.raeng.org.uk) Consultado el 12 de febrero de 2005.
- SAREWITZ, Daniel, Guillermo Foladori, Noela Invernizzi, y Michele Garkinkel (2004), "Science Policy in its Social Context", *Philosophy Today*, Suplement 2004, pp. 67-83.
- SCHMID, G., M. Decaer, H. Ernst, H., Fuchs, W. Grünwald, A. Grunwald, H. Hofmann, M. Mayor, W. Rathgeber, U. Simon y D. Wyrwa (2003), *Small Dimensions and Material Properties. A Definition of Nanotechnology*, Europäische Akademie, Graue Reihe Nr, 35 <http://www.europaeische-akademie-aw.de/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- SHIN, S., J. Furin, J. Bayona, K. Mate, J. Kim, y P. Yong y Farmer (2004), "Community-based treatment of multidrug-resistant tuberculosis in Lima, Peru: 7 years of experience", *Social Science & Medicine*, 59, pp. 1529-1539.
- STONEBURNER, R.L, y D. Low-Beer (2004), Population-Level HIV declines and behavioral risk avoidance in Uganda, *Science*, 304, pp. 714-718.



- TENNER, Edward (2001), "Nanotechnology and Unintended Consequences", en M.C. Roco y W.S. Bainbridge (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. (Final Report from the Workshop Held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000). pp. 241-246. <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- Times Magazine* (1994), 12 de septiembre de 1994. Titular: "Revenge of the killer microbes".
- TROUILLER, P., C. Battistella, J. Pinel y Pecoul, 1999, "Is orphan drug status beneficial to tropical disease control? Comparison of the American and future European orphan drug acts", *Tropical Medicine and International Health*, 4 (6), pp. 412-420.
- Whyfiles (2003), Whyfiles <http://whyfiles.org/038badbugs/scope.html> Consultado el 26 de junio de 2003.
- WILSDON, James y Rebecca Willis (2004), *See-through Science. Why public engagement needs to move upstream*, Londres, DEMOS.
- WiredNews* (2002), "Cleaner Living Through Nanotech", *WiredNews*. [www.wired.com/news/technology/0,1282,55024,00.html](http://www.wired.com/news/technology/0,1282,55024,00.html) (09/09/2002, 8:55AM), consultado el 22 de marzo de 2005.
- WISE, Richard, Tony Hart, Otto Cars y Marc Streulens *et al.* (1998), "Antimicrobial resistance: Is a major threat to public health", *British Medical Journal*, 317, pp. 609-617.
- WOLBRING, Gregor (2002), "Science and Technology and the Triple D (Diseases, Disability, Defect)", en M.C. Roco, y W.S. Bainbridge (eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, NSF/DOC-sponsored report, Arlington, National Science Foundation, pp. 232-243 <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- (2002), "Science and Technology and the Triple D (Diseases, Disability, Defect)", M.C. Roco, y W.S. Bainbridge (eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. NSF/DOC-sponsored report, Arlington, National Science Foundation. <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/> Consultado el 14 de marzo de 2005.
- YONAS, G. y S.T. Picraux (2001), "National Needs Drivers for Nanotechnology", en M.C. Roco y W.S. Bainbridge (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology* (Final Report from the Workshop Held at the National Science Foundation, sept. 28-29, 2000), pp. 37-44, <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/> Consultado el 14 de marzo de 2005.

## Lo pequeño es poderoso\*

Daniel Sarewitz y Edward Woodhouse

EL ESTRIBO de metal, que migró de Asia a Europa occidental en el siglo VIII, permitió que la energía de un caballo al galope fuese transmitida directamente al arma sostenida por el jinete en la silla de montar —una innovación de combate de impacto devastador. En aquellos tiempos, los caballos y aperos eran caros, poseídos casi exclusivamente por terratenientes. Por ello las proezas de las batallas y la riqueza iban de la mano; juntos forjaron la tradición de una “aristocracia guerrera” y establecieron los cimientos de la sociedad feudal europea. Cuando el rey anglosajón Harold se preparó para defender Inglaterra contra los invasores normandos en 1066 se liberó de su caballo y estribos de madera ornamentados, eligiendo dirigir sus fuerzas numéricamente superiores a pie. Los normandos sobrepasados en número, presumieron de una cabalgadura equipada con estribos, y con ello ganaron el día —y el milenio (White, 1962).

Este relato tiene una aureola de mitología, pero la experiencia del mundo industrializado refuerza la idea de que cuando los innovadores despliegan nuevos instrumentos a su favor, cambian la sociedad en el proceso. La invención de la desmotadora de algodón a finales del siglo XVIII permitió una vasta expansión del cultivo de algodón al sur de Estados Unidos —acelerando directamente una reactivación en la importación de esclavos para el trabajo en las plantaciones. Unos 150 años después, la cosechadora mecánica de algodón tornó repentinamente obsoleto el trabajo de millones de medianeros afroamericanos, y desencadenó una migración durante 30 años de cinco millones de personas del sur rural hacia el norte urbano. Dado el surgimiento de las capacidades ingenieriles, la cosechadora mecánica de algodón fue posiblemente inevitable, pero proliferó rápidamente porque los dueños de las plantaciones temerosos de los movimientos de derechos cívicos recibieron con beneplácito un reemplazo tecnológico por la explotada fuerza de trabajo de la cual dependían (Lemann, 1991).

Así, tecnología y sociedad evolucionan juntas. El estribo surgió en asociación con el feudalismo, el equipamiento agrícola no puede ser entendido fuera del legado de la esclavitud y cuestiones laborales, y las armas nucleares se

\* "Small is powerful", traducción del inglés por Guillermo Foladori.

aliaron a la hegemonía de los Estados Unidos y de la Unión Soviética para constituirse en determinante principal de la evolución geopolítica después de la Segunda Guerra Mundial. Autos, televisiones, aire acondicionado, y control de la natalidad surgieron, de la misma forma, en contextos sociales particulares y contribuyeron a la reconfiguración de la vida cotidiana.

Si innovaciones aparentemente modestas como el estribo de metal y la desmotadora de algodón pudieron transformar la sociedad desde sus raíces en un periodo de décadas o menos, ¿qué puede esperarse de las tecnologías a la vista que pretenden revolucionar el propio proceso mediante el cual los nuevos materiales son diseñados y producidos, que están desdibujando las fronteras entre lo inanimado y lo vivo, y que pueden combinar los poderes de la inteligencia de la máquina y la conciencia humana? Nadie puede entender plenamente las implicaciones en el largo plazo de dichos avances, que emergen bajo el encabezado de nanotecnología –“el arte y ciencia de construir instrumentos complejos y prácticos con precisión atómica” con componentes medidos en nanómetros, una mil millonésima parte de un metro (Crandall, 1996: 1). La rápida capacidad de mejora en la miniaturización se está combinando ahora con el continuo refinamiento en computación, mecatrónica y telecomunicaciones. Las innovaciones basadas en nanotecnología pueden interactuar y rivalizar con los combinados efectos sociales que hicieron época a partir de los químicos, los misiles nucleares, el transporte mecanizado, el procesamiento de datos computarizados, los antibióticos, la televisión y los agronegocios. De aquí a un siglo la sociedad será difícilmente reconocible –y el rango de posibilidades va desde lo fabuloso a lo calamitoso.

La esencia de la historia de la nanotecnología es la continuación de una tendencia de 50 años a la miniaturización de la máquina que culmina con el surgimiento del diseño controlado a nivel molecular. La nanotecnología no está confinada a una única área de innovación; “pequeñísimo” es su atributo común. Investigadores de varios campos técnicos están decididamente interesados en la manipulación de la materia en nanoescala, y los fondos están asegurados porque muchas de las primeras líneas de investigación son promisorias para los negocios y las aplicaciones militares.

Como una pequeña muestra de este creciente interés, el apoyo a la investigación en nanotecnología por el gobierno de los Estados Unidos se incrementó seis veces entre 1997 y 2003, alcanzando 710 millones de dólares por año. Dado que la mayoría de la investigación está en una etapa precomercial, mucho de este financiamiento pretende acelerar el pasaje de la investigación a la aplicación. La National Science Foundation (NSF) de los Estados Unidos, por ejemplo, apoya centros de investigación en nanotecnología en las universidades para explorar la ciencia e ingeniería fundamental que se supone permitirán una rápida innovación, ¿qué prometen estas inversiones?

- Mientras los chips convencionales de silicio alcanzan su máxima capacidad de almacenar memoria, la nanotecnología ofrece la potencialidad de un funcionamiento semejante, pero a partir de simples moléculas. Los científicos prevén computadoras muy pequeñas, de bajo costo y con una capacidad de cómputo miles de veces mayor a la de las actuales máquinas, introduciendo tal vez una segunda revolución en la computación, que puede ridiculizar los cambios ocurridos en los últimos 50 años (CUCETMN, s/f).

- Avances en la nanofabricación están llevando, directamente, a una nueva generación de sensores, con “superficies que pueden sentir y mezclarse con agentes químicos y biológicos [y] emitir una señal eléctrica u óptica medible cuando la mezcla se realice”. Esto puede conducir a una “forma consistente, barata y portátil de asegurar que los abastecimientos mundiales de agua potable y alimento estén libres de contaminantes”, a sensores en casas y lugares de trabajo “que puedan detectar cantidades minúsculas de todos los peligros biológicos y químicos y proveer medidas apropiadas de seguridad si los detectan”, y a dispositivos “tan pequeños como la punta de una aguja hipodérmica”, que “pueden detectar miles de enfermedades” (NUIN, s/f).

- Los científicos están trabajando en la

evolución de organismos que vivan y trabajen con otras clases de materiales inorgánicos... El proyecto está trabajado con virus que pueden ser diseñados para pegarse a varios elementos... Los virus pueden crecer en hojas, creando una superficie flexible que sostenga nanopartículas de varios materiales... Esto puede conducir a pantallas flexibles de computadora, removiendo los virus luego que la nanoestructura está formada pueden expandir su uso a condiciones donde los materiales biológicos fallan (Burnell, 2002).

Otros investigadores están buscando replicar funciones biológicas con sintéticas, diseñando y sintetizando moléculas orgánicas y ajustes supramoleculares que puedan imitar los procesos de fotosíntesis de las plantas verdes –abriendo, tal vez, una nueva era impulsada por la energía solar en un sentido mucho más fundamental de lo que el término significa hoy en día.<sup>1</sup>

IBM y Xerox están entre un creciente número de grandes corporaciones que realizan investigación y desarrollo en nanotecnología, y nuevas firmas que esperan imitar el explosivo suceso del valle de Silicio corren a colocar sus productos en el mercado. Carbon Nanotechnologies, por ejemplo, reclama ser “líderes mundiales de producción de nanotubos de carbón de una sola pared ...las más rígidas, fuertes y recias fibras conocidas”. Su producto más avanzado Bucky-Plus™ Fluorinated Single-wall Carbon Nanotubes, cuesta 900 dólares por gramo, más

<sup>1</sup>Véase, por ejemplo, el Programa de Nanotecnología Biomolecular de la Arizona State University, <http://photoscience.la.asu.edu/bionano/research5.htm> Consultado el 1o. de febrero de 2003.

de 50 veces el precio del oro (Carbon Nanotechnologies Inc., s/f). Nanomix está trabajando para desarrollar “nuevos sistemas de almacenamiento de hidrógeno que pueden impulsar la revolución de la célula energética, usando materiales nanoestructurados para almacenar hidrógeno en estado sólido para aplicaciones automotivas y dispositivos portátiles de energía” (Nanomix, s/f).

El futuro luce espléndido para la comunidad de investigación en nanotecnología y sus defensores. Como ha dicho un reconocido visionario de la tecnología, Newt Gingrich –director de la NanoBusiness Alliance y antiguo vocero de la Casa de Representantes de los Estados Unidos:

La nanotecnología, la ciencia del desarrollo de instrumentos y máquinas tan pequeñas como una molécula, tendrá un impacto tan grande en nuestras vidas como lo tuvieron los transistores y los chips en los últimos cuarenta años. Imagine que ingiere máquinas altamente especializadas, sistemas de seguridad menores a una partícula de polvo y casas y autos con dispositivos colectivos inteligentes. Las implicaciones para defensa, seguridad pública y salud son sorprendentes (Gingrich, 1999: A19).

Aún los corrientemente aburridos reportes gubernamentales exaltan con fervor promocional –“Investigadores que miran adelante consideran que pueden llegar a creaciones sintéticas con comportamientos semejantes a los de la vida” (NSTC, 1999: 2)– relegando, indirectamente, a aquellos que se sienten inconformes con tales propuestas al rango de los que “miran al pasado”. Para los visionarios de la nanotecnología,

[nuestro] mundo está lleno de imperfecciones y limitaciones. Metales que se herrumbran, plásticos que se quiebran, semiconductores que no pueden conducir más rápido. Y así por delante. La nanotecnología puede mejorar todo eso –literalmente– mediante la reingeniería de los ladrillos de construcción fundamentales de la materia. Es una de las áreas de investigación más excitante del planeta, y puede conducir al mayor avance del siglo (RPINC, s/f).

Más aún, cuando un informe del National Science and Technology Council dice: “Si las tendencias presentes en nanociencia y nanotecnología continúan, la mayoría de los aspectos de la vida cotidiana están sujetos a cambios” (NSTC, 1999: 2), ¿en qué, exactamente están los autores pensando? “La ciencia descubre, la tecnología crea, el hombre adapta”, ¿cómo proclamaba la Feria Mundial de Nueva York de 1939? El uso de la voz pasiva es sensacionalmente reveladora: el mundo *va* a ser transformado por procesos inevitables, autónomos, incorpóreos, llamados ciencia y tecnología, pero nadie, aparentemente, está haciendo la transformación.

No es exactamente así. Hasta ahora, la entusiasta decisión de rehacer el mundo con nanotecnología provino de comités surgidos de pequeños grupos de expertos, la mayoría hombres, la mayoría de clase media alta, la mayoría norteamericanos, todos en posesión de amplia experiencia técnica. Pero los nanocientíficos e ingenieros del siglo XXI no han pensado con mayor cuidado sobre los aspectos sociales de su trabajo de lo que lo hicieran los tecnólogos del siglo anterior, que introdujeron las armas nucleares y los reactores nucleares al mundo, o los químicos que despreocupadamente sintetizaron millones de toneladas de químicos clorados sin prestar atención a sus efectos ecológicos y sobre la salud (Thornton, 2000). Todavía falta reconocer que el desarrollo de precavidos caminos de avance, caminos que pueden ganar amplio sustento público y asegurar extendidos beneficios públicos, requieren de tiempo de paciente deliberación. La inteligencia de la democracia se sostiene mediante el debate y la negociación entre los partidarios de diferentes grupos de valores parcialmente conflictivos, con diferentes competencias, y diferentes bases e intereses institucionales. Los expertos por sí mismos no pueden suministrar estas diversas perspectivas.<sup>2</sup>

A esta altura mucho del trabajo en nanotecnología no es más que un reflejo de la felicidad que los científicos e ingenieros experimentan cuando usan nuevos instrumentos para hacer nuevas cosas que son de su interés:

Donald Eigler del Centro Alden de la IBM recuerda el día de 1990 cuando él y Erhard K. Schweitzer, quien era visitante del Instituto Fritz-Haber de Berlín, movieron átomos individuales por primera vez. En la computadora de su laboratorio Eigler usó grandes letras y un signo de exclamación para escribir “¡Esto es divertido!” Usando uno de los instrumentos de medición y manipulación más precisos que el mundo nunca haya visto, los investigadores acomodaron con lentitud treinta y cinco átomos de xenón para deletrear las tres letras del logo IBM encima de un cristal de níquel. A decir verdad sólo funcionó en un espacio al vacío mantenido a una temperatura que hacía al Polo Norte parecer tropical (NSTC, 1999: 7).

Resulta divertido. “Los investigadores de la nanotecnología aman su habilidad recién descubierta de mover átomos sobre superficies” (NSTC, 1999: 7). El entusiasmo es entendible, pero hay algo inquietante en la promesa de que el juego de hacer ciencia se va a traducir en un mundo inevitablemente transformado para mejor. El placer en cambios pequeños se revela como justificación y base para encauzar cambios sociales de carácter desconocido y de extensión potencialmente ilimitada. Por debajo de la superficie, sin embargo, yace una realidad política: para continuar haciendo el trabajo que les da retribuciones personales y profesionales, los científicos y las agencias que los apoyan pueden

<sup>2</sup>Sobre la inteligencia de la democracia, véase Lindblom y Woodhouse, 1993.

decir lo que los administradores electos desean escuchar, con tal de aumentar la posibilidad de futuros financiamientos (Gilman, 2001). Sobre tales motivos banales se rehace el mundo.

Claro que las revoluciones tecnológicas no hacen al mundo como quieren. Los productos de la innovación son introducidos en la sociedad mediante instituciones y sistemas que ya existen, y las fortalezas y debilidades persisten aún frente a los rápidos cambios tecnológicos. Considérese, por ejemplo, el campo de la atención a la salud. A pesar de las continuas promesas contrarias, la experiencia muestra que las nuevas tecnologías biomédicas tienden a ofrecer beneficios sólo a cambio de crecientes costos globales, mientras contribuyen a la bien documentada inequidad en el acceso a la atención a la salud, a su distribución, y a sus productos, al menos en los Estados Unidos.<sup>3</sup>

Las técnicas de nanoescala auguran “revolucionar la velocidad con la cual nuevos componentes son examinados para potenciales terapias, como nuevas drogas... Si la tendencia es similar a aquélla de la microelectrónica, la tasa puede crecer exponencialmente” (Craighead y Leong, 1999: 110). Sin embargo, las trayectorias de investigación y desarrollo de las compañías farmacéuticas se orientan hacia la generación de beneficio, no hacia mejorar la salud. Desde mediados de los sesenta, por ejemplo, de las más de 1,200 drogas colocadas en el mercado por la industria farmacéutica, sólo cuatro eran para enfermedades infecciosas tropicales, tal como la malaria, que mata millones anualmente. De estas cuatro drogas, no obstante, dos fueron originalmente desarrolladas para otros propósitos, y una ya ha sido retirada del mercado (Zumla, 2002: 393). Podemos esperar una proliferación de nuevas drogas posibilitadas por la nanotecnología, que pueden ayudar a personas de sociedades opulentas a atender cualquier problema desde neurosis a impotencia, hasta la declinación asintótica del proceso de envejecimiento de nuestros cuerpos pero, a menos que cambien las presentes motivaciones para la ciencia y la innovación, podemos anticipar pocos beneficios para quienes tienen las mayores necesidades.

La nanotecnología también promete acelerar la tendencia a diagnosticar las enfermedades que no tienen cura. “Con arreglos de sensores ultraminiaturizados que pueden examinar un abanico de químicos o condiciones, el nivel de confianza y especificidad en la detección será mucho mayor de lo que es posible hoy en día con sensores macroscópicos separados” (Craighead y Leong, 1999: 110). Por ejemplo, sensores de DNA pronto tendrán la capacidad de analizar múltiples enfermedades, “incluyendo enfermedades sexualmente transmisibles, fibrosis cística y predisposición genética al cáncer de colon y a la hipercoagulación de la sangre” (Stikeman, 2002: 65). La fibrosis cística permanece incurable, por supuesto, y el conocimiento a la predisposición al cáncer ya ha sido revelado, teniendo en el caso del cáncer de mama un resultado contradictorio en la mejor de las hipótesis.

<sup>3</sup> Por ejemplo, Wilkinson, 1996.

En la medida en que los nanosensores detecten la primera molécula indicativa de una enfermedad, sin duda ayudarán a salvar vidas, pero también conducirán al incremento de intervenciones médicas innecesarias o realmente perjudiciales. La actual controversia sobre la efectividad de la mamografía para el cáncer de mama y de los exámenes de antígeno prostático específico (PSA) para el cáncer de próstata muestra una rendija de lo que puede suceder en mayor escala. En tanto ambos exámenes ofrecen capacidad de detección temprana, la evidencia estadística de numerosos exámenes clínicos no ha demostrado que las nuevas técnicas de hecho extiendan o salven vidas (Perron *et al.*, 2002). Pero sí presionan por la demanda de exámenes adicionales y tratamientos, algunos de los cuales, por sí mismos, debilitan al paciente.

Los nanosensores prometen trasladar la detección a etapas más tempranas –a la primera manifestación molecular de elevación de los niveles de PSA, por ejemplo– a pesar del hecho de que la mayoría de los cánceres de próstata crecen tan lentamente que no amenazan la vida (Stikeman, 2002). Es común que procesos genéticos y químicos anormales ocurran dentro de un cuerpo normal todo el tiempo –y los procesos normales del cuerpo son a menudo suficientes para encargarse de ellos, antes que se vuelvan importantes. Nanosensorear las primeras manifestaciones de las enfermedades promete, por tanto, estimular un aumento significativo de tratamientos innecesarios y generar significativos efectos colaterales. Al mismo tiempo, la capacidad de nanodetección va a incrementar considerablemente la información que las proveedoras de seguros podrán usar para establecer decisiones sobre su cobertura. En tanto negocios competitivos, las compañías de seguro a menudo pretenden incrementar su rentabilidad negando la cobertura a aquellas personas en situación de alto riesgo, un objetivo que los gobiernos pueden impedir sólo parcialmente mediante regulación (excepto cuando proveen de cobertura médica universal con fondos públicos).

Por supuesto que algunas aplicaciones de la nanotecnología a la medicina bien pueden valer los costos y los riesgos, mientras que otras no. El problema es cómo distinguir, cómo actuar sobre las diferencias, y quién debe participar en los procesos de selección. La misma necesidad de elegir con cuidado va a surgir cuando se consideren las promesas de la nanotecnología en otros sectores. ¿Cómo puede la innovación en computación ayudar a aliviar, en lugar de exacerbar, la expandida experiencia de información ya excesiva del mundo moderno?, ¿cómo pueden las industrias ser reconstruidas para mejorar la calidad de la vida laboral –e impedir la marginación de los millones de trabajadores a lo largo del mundo que las innovaciones industriales han causado en el pasado?, ¿puede la nanotecnología ser usada para aumentar la inteligencia y autonomía del equipo militar (y por lo tanto mantener a los soldados fuera de la línea de frente) sin incentivar al enemigo menos equipado a volverse en contra de objetivos civiles desprotegidos como el World Trade Center?



## Hacia lo desconocido

La propaganda sobre las aplicaciones de diagnóstico médico mediante nanotecnología pueden parecer inocentemente (o cínicamente) optimistas, pero las consecuencias es probable que se reduzcan al campo de lo conocido. Sin embargo, si la nanotecnología alcanza su potencial último –de literalmente ensamblar materiales y máquinas desde una base molécula a molécula, y alcanzar funcionalidad a nivel de las moléculas individuales– entonces nos estaremos moviendo hacia un territorio en el cual no tenemos experiencia. De hecho, la “nanofabricación” es una de las principales áreas de énfasis entre las investigaciones en nanotecnología financiadas por el gobierno. El progreso en este campo puede llevarnos finalmente a lo que se conoce como un “ensamblador”, un instrumento “que es capaz de producir casi cualquier cosa... Alimentado con elementos químicos simples, esta sorprendente máquina rompe moléculas y las reordena formando el producto que usted pida” (CRN, s/f). Por ahora es cosa de ciencia ficción, y algunos observadores bien informados están seguros que así va a seguir. Otros, sin embargo, no están de acuerdo, y la Corporación Zyvex, que proclama ser “la primera compañía de nanotecnología molecular” está haciendo de este cáliz sagrado de la nanotecnología, un sistema “capaz de producir masivamente materiales de estructuras arbitrarias con precisión atómica, colocando prácticamente todos los átomos en el lugar deseado” (ITRI, s/f).

Es probable que la primera advertencia sobre nanotecnología de este nuevo tipo haya provenido del nanotecnólogo y previsor de la tecnología Eric Drexler, cuyo libro de 1986 *Engines of Creation* a pesar de exaltar en la mayor parte las posibilidades de la tecnología, dedica un capítulo a sus posibles peligros:

Impulsados por energía fósil o de luz solar [ensambladores autorreplicables] serán capaces de hacer casi cualquier cosa (inclusive más de ellos mismos) de materiales comunes... Replicadores de ensamblaje pueden ganarle a los más avanzados organismos modernos. “Plantas” con “hojas” no menos eficientes que las células solares actuales podrán competir con plantas reales, poblando la biosfera con un follaje intragable y desagradable. Rudas “bacterias” omnívoras podrán competir con bacterias reales: podrán despararrar polen volátil, replicarse ilimitadamente, y reducir la biosfera a polvo en cuestión de días (Drexler, 1986).

El trabajo de Drexler no despertó mayor atención pública, pero una versión similar de los peligros hipotéticos alcanzó los titulares en 2000 cuando el jefe de Sun Microsystems, el científico Bill Joy publicó en la revista *Wired* un artículo titulado “¿Por qué el futuro no nos necesita?”. Joy describía un mundo de “nanorrobots” que se autorreplicaban y proliferaban exponencialmente que podrían sumir al planeta en una incontrollable “plaga gris”. Debido a su rango como uno de los arquitectos líder de la infraestructura de la información mun-

dial, sus advertencias hicieron olas: Joy no es un *luddita*. Mientras que al principio los informes de los medios se refirieron con respeto a su visión pesimista, las comunidades de investigación y tecnología rápidamente se movilizaron como anticuerpos para neutralizarlo. El ganador del Premio Nobel Richard Smalley dijo: “Mi consejo es que no se preocupen con los nanorrobot autorreplicantes... Actualmente no son reales y nunca lo serán en el futuro” (Service, 2000: 1527). John Armstrong, vicepresidente retirado de investigación de la IBM, eschachó a Joy sin siquiera molestarse en nombrarlo: “Si está preocupado, como algunos parecen estar, por un futuro robótico lleno de nanomecanismos que no nos necesitan, isugiero que alquilen en la videoteca una copia de *Sleeper* de Woddy Allen, y recuperen su sentido del equilibrio!” (Armstrong, 2001: 30).

Adherentes de lo que a veces linda con una nueva religión nanotecnológica parecen no notar su propio ufanísimo. El punto, ciertamente, no es si las preocupaciones específicas de Joy se vuelven realidad, sino que sus predicciones no son, por cierto, extrapolaciones menos razonables de las actuales tendencias que aquéllas de los promotores de la nanotecnología. Es posible, sin embargo, que las preocupaciones de Joy no merecieran consideración especial porque identificaban un peligro mayor al de cualquier estimación positiva sobre los potenciales de la nueva tecnología. Tampoco tiene Joy un conflicto de interés intrínseco, como sí lo tienen la mayoría de los investigadores que se benefician si sus actividades de promoción se traducen en fondos de investigación.

Menos controvertido que las predicciones de Joy sobre la plaga gris es el reconocimiento que la nanotecnología va a catapultar una segunda revolución en el potencial de la computación que puede llevar a la hibridización de la inteligencia humana y de la máquina. Mientras que algunos visionarios tecnológicos ven esto como un resultado deseable e inevitable de los resultados de la invención humana, otras personas pueden no sentirse totalmente optimistas en lanzar o acelerar los cambios tecnológicos que pueden hacer a los humanos, como los pensamos hoy en día,... en fin, obsoletos. ¿El futuro nos necesitará? Las computadoras de *quantum* y los cerebros humanos pueden combinarse para crear algo totalmente nuevo. Un articulado defensor de esta visión es el inventor Ray Kurzweil.

Estamos entrando a una nueva era. Yo le llamo “la Singularidad”. Es una combinación de la inteligencia humana y la inteligencia de la máquina que va a crear algo mayor a sí misma. Es la punta de lanza de la evolución de la inteligencia en general, porque no hay indicador de que haya ocurrido en ningún otro lugar. Para mí es sobre todo lo que significa la civilización humana. Es parte de nuestro destino y parte del destino de la evolución el continuar progresando cada vez más rápido, y hacer crecer el poder de la inteligencia exponencialmente. Pensar en parar esto –pensar que los seres humanos están bien de la manera que son– es un recuerdo romántico de lo

que los humanos solían ser. Los humanos son una especie que ha recorrido una evolución cultural y tecnológica, y es la naturaleza de su evolución que se acelera, y sus poderes crecen exponencialmente, y de eso es de lo que estamos hablando. La próxima etapa de esto será el amplificar nuestros propios poderes intelectuales con los resultados de nuestra tecnología (Kurzweil, 2001).

La entusiasta exposición de Kurzweil del crecimiento exponencial de la inteligencia de la máquina muestra un entendimiento peculiar de lo que es importante en este mundo “sobre lo que la civilización humana es”: la continua evolución de la inteligencia. ¿Está lo humano realmente tan amarrado con la habilidad del permanente incremento en el proceso de información? Es fácil de imaginar una especie con poderes mentales mayores que los nuestros –los autores de ciencia ficción lo hacen a cada rato– pero si son o no “humanos” es otra cuestión. Sólo se necesita leer a Homero o Shakespeare para reconocer que la esencia de la humanidad ha sobrevivido, para bien o para mal, a las revoluciones industriales y de la información de manera bastante intacta. La generación pasada o tal vez las dos últimas de crecimiento exponencial de las capacidades de procesamiento de información no parecen haber hecho a las élites políticas, económicas y tecnológicas discernir de manera más inteligente sobre cómo ejercitar sus poderes recién descubiertos; ese tipo de percepción no se deriva de una aptitud analítica. (De hecho, un exceso de confianza en el poder del análisis racional ha estado en la base de los desastres de la modernidad como la planificación centralizada en la Unión Soviética, la incursión de los Estados Unidos en la guerra de Vietnam, y el reemplazo de los bosques naturales por monocultivos.)

Que “la singularidad” permita un avance en la causa por el bienestar humano o lo retarde no será reflejo de las tecnologías mismas, sino de los regímenes de los cuales ellas dependen. Los defensores de la nanotecnología parecen ajenos a esta simple verdad. Podemos estar bastante seguros que las predicciones de la nanotecnología que hoy posibilitan futuras utopías (y desutopías) algún día parecerán tan fuera de moda (o inclusive malignas) como More y Verne y Marx nos parecen hoy en día.

### Lecciones derivadas

La ingenuidad que domina las discusiones sobre nanotecnología se ajusta a una de las mejores conclusiones de investigación de los historiadores de la tecnología: nunca deben aceptarse las predicciones color de rosa de los expertos sobre cualquier potencial tecnológico emergente. Como el cientista político Langdon Winner señaló: los tecnocientíficos contemporáneos tienden a trabajar dentro de la “tradición maestra” del pensamiento y la práctica occidental basada en el supuesto de que el conocimiento puede y será usado para conquistar la “natu-

raleza” (Winner, 1977). Esta visión mecánica del universo, un legado del optimismo del siglo XVII, que dio nacimiento a la ciencia y democracia modernas, es evidente en los pronunciamientos hechos a favor de la nanotecnología (aunque sin un lugar para la democracia). Aunque a veces manifiestan preocupación por las sorpresas ambientales y las casi catástrofes nucleares del siglo XX, la mayoría de los campos científicos y técnicos parecen gobernados por lo que un psicoanalista llamaría rechazo y sobrecompensación –reiterando con más fuerza el mantra de que el progreso técnico lleva constantemente al progreso social (Marx, 1987). La tradición maestra, está, en otras palabras, viva y con buena salud, a pesar de los encontronazos y de los parcialmente exitosos movimientos sociales de los últimos 100 años.

Kurzweil y otros visionarios de la nanotecnología le dan a la tradición maestra un nuevo giro. Ellos creen que la evolución tecnológica es en gran medida autónoma, moviéndose en caminos que poco pueden ser alterados por la elección humana. De allí que los comentarios sobre nanotecnología comparten, en general, la idea contradictoria de que cambios tecnológicos específicos vendrán inexorablemente, y que la gente será más libre que nunca, vivirá mejor que nunca. Este es un escenario increíble: una traducción inevitable y automática del destino tecnológico en una vida mejor para todos.

Las proclamas hechas en favor de la nanotecnología están enraizadas en un absurdo termodinámico y filosófico: el control del micronivel se traduce en el control en el macronivel. Más aún, la palabra “control” es central en la promesa de la nanotecnología: “La importancia de la nanotecnología está basada en la importancia de *controlar* la materia en la nanoescala para el cuidado la salud, el medio ambiente, la sustentabilidad, y casi toda industria” (Roco y Bainbridge, 2001: 1). El mundo real –el mundo experimentado, el mundo en el cual los humanos deben tomar decisiones sobre, digamos, cómo hacer uso de la nanotecnología– está hecho de sistemas complejos que comprenden innumerables componentes interactuando en formas que son a menudo intrínsecamente impredecibles. Este es otro de los más firmes y establecidos entendidos desarrollados sistemáticamente por los análisis de las ciencias sociales sobre la innovación tecnológica: las consecuencias no intencionales son a menudo mayores que aquéllas previsibles y pretendidas por sus innovadores.

Las consecuencias no intencionales surgen en parte porque el control ejercido a un nivel lleva, muy a menudo, a reacciones impredecibles a otro nivel. La nanotecnología es la última aplicación del reduccionismo, y sin embargo, su poder de conferir creciente control sobre pequeños componentes de la naturaleza puede llegar a ser enorme. Pero tal como, por ejemplo, el control de mediana escala que permiten el automóvil y la planta de quema de carbón provocan consecuencias de macro nivel, que incluyen la contaminación del aire, el cambio climático y la geopolítica de los combustibles fósiles, de la misma for-

ma podemos razonablemente asegurar que las aplicaciones específicas de la nanotecnología tendrán impactos incontrolados y ni siquiera comprendidos por aquellos que los crearon o usaron. Como con las tecnologías transformadoras que van desde el estribo a la producción en línea, a la desmotadora de algodón, o a la bomba de hidrógeno, debemos esperar que las consecuencias imprevistas, tanto buenas como malas, vayan a provocar un profundo desequilibrio social.

Si, como prometen, la nanotecnología revoluciona, por ejemplo, todo nuestro sistema de producción e invención, los impactos serán enormes e impredecibles. Para sopesar la posible escala considérese solamente uno de los elementos de la primera revolución industrial —la transformación del trabajo humano. Antes del siglo XIX, aún las sociedades económicamente más avanzadas eran predominantemente agrarias y rurales. Para la mayoría de la gente el trabajo estaba enraizado en la casa y la familia. Cambios sorprendentes en el tiempo y el transporte se imponían con crudeza, pero la mayoría de la gente y familias poseían una diversidad de habilidades que les daba autonomía frente al trabajo asalariado y resiliencia para enfrentarse a una variedad de retos. En tiempos duros la vuelta al cultivo de subsistencia y el trueque era siempre posible (Keyssar, 1986).

La llegada de la moderna máquina manufacturera cambió todo eso. La industrialización y urbanización crecientes unieron a los trabajadores al trabajo asalariado y a los mercados de consumo, despojándolos de la necesidad y la habilidad de mantener una diversidad de destrezas que habían sido prerrequisitos para la sobrevivencia en el mundo preindustrial. El trabajo mismo se convirtió en una mercancía, sujeto a las mismas fluctuaciones e influencias que las otras mercancías. Durante una crisis económica, las empresas despedían a la gente o cerraban completamente; los trabajadores, por primera vez, no pudieron responder con facilidad a las variaciones en las condiciones económicas cambiando a otro tipo de trabajo o modificando su modo de subsistencia. Como el economista político Karl Polanyi observó, “separar el trabajo de otras actividades de la vida y sujetarlo a las leyes del mercado era erradicar toda forma de existencia orgánica para reemplazarla por un tipo diferente de organización, atomizada e individualista” (Polanyi, 1957: 163). Algunos observadores de antes y de ahora consideraron esto maravilloso, otros lo encontraron terrible; lo que está fuera de discusión es que los cambios sociotécnicos ejercieron profunda influencia en el ritmo, carácter y sentido de millones de vidas.

La engañosa proclama de que la humanidad ganará mayor control sobre el mundo material mediante las nanotecnologías ignora, entonces, nuestro conocimiento histórico de que la tecnología cambia, de forma impredecible, el contexto social dentro del cual los humanos pueden actuar. Más aún, “la humanidad” no es un actor, y por lo tanto no puede controlar nada. El punto es que ciertos individuos y sus organizaciones hacen elecciones sobre ciertos dominios,

y a veces nuevas capacidades técnicas dan a la gente y sus organizaciones medios extendidos de ejercer influencia –tanto sobre el mundo material como sobre otras personas. Así, la verdadera pregunta no es si la nanotecnología va a permitir a la humanidad obtener un mejor control sobre la naturaleza, sino *qué* humanos serán los que estarán realizando las elecciones, qué tanto coincidirán sus valores e intereses con los de la mayoría, si respetarán las necesidades de las minorías, y si adoptarán estrategias para protegerse contra el tipo de problemas y dislocaciones que aquí hemos discutido –y otras que aún no podemos imaginar.

En algún momento, en los próximos años, un ser humano probablemente va a ser clonado. Esto va a suceder a pesar de la extendida repugnancia por tales actividades, incluyendo las restricciones legales en los Estados Unidos para utilizar fondos federales para clonar humanos. Sin embargo, el momento técnico parece imparable, y parece faltar completamente la voluntad política para impedir la clonación humana. Dada la expansión de las tecnologías a grupos marginales como los raelianos, una organización *quasi* religiosa con miembros a lo largo del mundo, va a ser imposible encaminar una prohibición. El tiempo para prevenir la clonación humana debió haber sido cerca de 1980, cuando el surgimiento de la revolución de la biotecnología comenzó a mostrar su capacidad– pero antes de su existencia, de manera que nadie hubiese tenido mucho que perder con una prohibición.

Pero, en aquel entonces habría habido poca disposición entre los científicos para regulaciones gubernamentales que se proponían prevenir determinadas líneas de investigación sobre la base del sentimiento público, y aquellos que reclamaran una acción temprana serían, sin duda, frenados por acusaciones de “anticientificismo” y “luddismo”. Y este es, precisamente, nuestro punto: cuando innovaciones importantes se hacen visibles, ni las instituciones gubernamentales, ni la práctica científica, ni el mercado de consumo están dispuestos a actuar a tiempo y con sensibilidad en función del interés público. Así es como Langdon Winner señaló la cuestión en *The Whale and the Reactor*:

En una época en la cual el poder ilimitado de la tecnología científica hace todas las cosas posibles, falta ver dónde vamos a trazar la línea, dónde seremos capaces de decir, aquí hay posibilidades que el instinto nos sugiere evitar. Estoy convencido que cualquier filosofía de la tecnología que valga la pena debe eventualmente preguntarse: ¿Cómo podemos limitar la moderna tecnología, para hacerla coincidir con nuestro mejor sentido de lo que somos y el tipo de mundo que queremos construir? (Winner, 1986: 11).

¿Qué debe ser hecho para mejorar las cosas?

Una conducción inteligente de cualquier tecnología requiere asumir dos cuestiones que están largamente ausentes de la poderosa promoción que está por detrás de la nanotecnología: el desacuerdo y la incerteza. A través del pasa-

do medio siglo, científicos políticos que estudian cómo se toman las decisiones han concluido que el conocimiento no es sustituto de la negociación política, porque el análisis por sí mismo nunca podrá resolver cuestiones complejas como las que atañen directamente a la innovación tecnológica. Estos estudiosos también han encontrado que, por similares razones de complejidad y consecuencias imprevistas, el aprendizaje por prueba y error es el mejor acercamiento para introducir nuevas tecnologías de magnitud en la sociedad. Sin embargo, la forma en que estas negociaciones se establecen marcan una gran diferencia, así como las estrategias y técnicas mediante las cuales los innovadores y reguladores asumen el proceso de aprender por la experiencia.

El primer paso hacia una gobernanza más inteligente de prueba y error de la nanotecnología es colocarla de forma clara en la agenda pública, y esto parece estar llevándose a cabo (Lindblom, 1965; Morone y Woodhouse, 1986; Morone y Woodhouse, 1989; Lindblom y Woodhouse 1993). En 2002 Michael Crichton publicó un ensayo que no era de ficción sobre la nanotecnología en la revista *Parade* que, junto a su novela *Presas*, causaron sensación e hicieron visible al público escenarios semejantes a aquellos adelantados por Drexler y Joy (Crichton, 2002: 6-8). Un nuevo Centro para la Nanotecnología Responsable comenzó a funcionar en diciembre. Uno de nuestros más atentos observadores de ciencia y tecnología, el físico de Princeton Freeman Dyson, reconoció los “graves peligros” potenciales de la nanotecnología en un artículo en *The New York Review of Books* (Dyson, 2003) y más o menos al mismo tiempo el Joint Centre for Bioethics de la Universidad de Toronto advirtió sobre la posibilidad de una reacción contra la nanotecnología. La nanotecnología se está colando en la imagen pública.<sup>4</sup>

Las virtudes de una mayor apertura debieran ser ya obvias a los planificadores de ciencia y tecnología. No importa la opinión que uno tenga sobre los méritos y riesgos del poder nuclear y de los organismos genéticamente modificados, es difícil, por ejemplo, imaginar que los involucrados en las primeras promociones de estas tecnologías no deseen ahora haber incorporado al público de forma más agresiva en el desarrollo de una visión de lo que se quería y de cómo debía ser alcanzado.

Conocidas patologías ya están comenzando a jugar su papel en el caso de la nanotecnología. Mientras los cuentos de los medios de comunicación comienzan a estimular el interés por la nanotecnología, varios grupos de interés público, incluyendo el Science and Environmental Health Network y el grupo ETC, han comenzado a manifestar preocupaciones, y han sido criticados por hacerlo. No existe, a la fecha, un *forum* real para que los grupos interesados discutan sus perspectivas. La mayoría de las audiencias del congreso sobre el tema

<sup>4</sup>Otros libros que ofrecieron advertencias y análisis relacionados incluyen: Fukuyama, 2002; Mulhall, 2002.

han sido ejercicios serviles dominados por expertos interesados, y que podrían haber sido tituladas de “¡Hurra a la nanotecnología!” Tal como la experiencia con la energía nuclear reveló, pocos gobiernos proveyeron rápidamente de un *forum* para los disidentes. El resultado es una mayor polarización de la retórica en ambos lados, y un endurecimiento de las posiciones a través del tiempo que hacen crecientemente difícil la acción deliberativa.

Ni un automóvil ni una conversación ni una tecnología emergente pueden ser conducidos propiamente si se mueven tan rápido que impiden que los que están a cargo aprendan con su retroalimentación. Para facilitar una amplia deliberación pública, que sería necesaria para un seguimiento y desenlace inteligente de la nanotecnología, no parece haber alternativa más razonable que el enlentecimiento de ciertos aspectos de la investigación y la comercialización. Esto puede parecer una idea radical y sin precedentes, pero en el momento actual no lo es. Cuando la investigación en biotecnología comenzó en los sesenta, algunos de los científicos claves del área declararon una moratoria a lo que entonces era conocido como la investigación en “el DNA recombinante”, luego se reunieron en el centro de conferencias Asilomar en California para elaborar lineamientos precautorios. Subsecuentemente, los National Institutes of Health apoyaron dichos lineamientos, mismos que se convirtieron en los marcos regulatorios *de facto* para investigación en dicho campo. Y a pesar de que el proceso Asilomar fuese defectuoso porque estaba dirigido por expertos y aplicado sólo a los riesgos inmediatos de la investigación de laboratorio –desconsiderando cuestiones de largo plazo sobre riesgos sociales de los productos de investigación– al menos sugería que las comunidades científicas podían involucrarse en un proceso responsable de autoevaluación.

Dadas las amplias incertezas sobre los futuros impactos sociales de la nanotecnología, debemos pensar en la revolución que se está desarrollando como un gran experimento –una prueba clínica– que los tecnólogos están conduciendo sobre la sociedad. Desde esta perspectiva, podemos pensar en un robusto consenso social apoyado en un informado consentimiento previo como una base para participar en experimentos científicos. Este consenso es formalmente codificado en la declaración de Helsinki de la World Medical Association, reforzada más recientemente en 2000, y reforzada en la conciencia pública por la memoria, por ejemplo, de los experimentos Tuskegee, donde hombres afroamericanos con sífilis fueron dejados sin tratamiento como parte de un “grupo de control”, a pesar del conocimiento de la existencia de eficientes tratamientos (Christie, 2000: 913).

En los Estados Unidos, todo proyecto de investigación financiado públicamente que incorpora sujetos humanos es monitoreado por un comité de revisión institucional (Institutional Review Board, IRB) que debe aprobar la investigación antes que pueda ser conducida. Toda universidad, laboratorio indepen-



diente, y laboratorio del sector privado que recibe fondos federales para temas de investigación en humanos tiene un IRB, hay miles de comités operando en los Estados Unidos, cerca de 800 sólo en California. Estos comités demuestran que la amplia gobernanza es un objetivo razonable, y mientras los IRB ciertamente implican un costo en términos de la eficiencia en la conducción de la investigación, son un elemento aceptado de una infraestructura científica que respeta la dignidad humana. En experimentos con animales existe una disposición similar desde la empresa de investigación en su conjunto hasta las mayores estructuras democráticas y de conformidad con regulaciones de seguridad ambiental y de salud. En otras palabras, es posible el entendimiento cuando los riesgos son altos y las intenciones sociales claras.

Pero el sujeto humano de la investigación es más que un ejemplo ilustrativo. Frente a las implicaciones de la revolución de la nanotecnología, aquéllas de cualquier prueba clínica determinada o examen psicológico parecen pequeñas— y sin embargo aceptamos este experimento en la sociedad sin escrúpulos morales, ningún mecanismo de supervisión, ni obligación de entender lo que hacemos mientras lo hacemos. Los IRB proveen un modelo que puede ser expandido hacia una evaluación social más amplia y un mecanismo aprobatorio adjunto a todo programa importante de nanotecnología, especialmente aquellos que introducen procesos o productos completamente nuevos en la sociedad. Tal enfoque puede brindar una variedad de instrumentos de evaluación de impacto social, tal como la construcción de escenarios y la previsión tecnológica, junto a bien aceptados procesos deliberativos como conferencias de consenso y reuniones en ciudades, para crear un amplio, aunque descentralizado, enfoque de la participación pública en la conducción de la tecnología.

Sin embargo, las evaluaciones y la discusión pública no pueden sustituir la regulación. Un modelo posible de regulación es el sistema de Notificación Premanufacturada para nuevos químicos. En 1976, luego de las terribles experiencias con el vinilo clorinado, PBC, DDT y otros químicos clorinados, el Congreso aprobó el Toxic Substances Control Act obligando a que todos los nuevos químicos fuesen aprobados por el Environmental Protection Agency antes de su manufactura y uso. La Food and Drug Administration, por supuesto, tiene un sistema similar para las farmacéuticas que es aún más elaborado y restrictivo. La racionalidad para ambos regímenes es que el público no puede depender solamente de los tecnólogos y productores para juzgar la seguridad de nuevos productos, sino que esto es una tarea de regulación gubernamental que no puede ser desviada por los futuros beneficios económicos. Aunque el sector privado se va a oponer activamente a cualquier tipo de esquema de regulación en ese sentido, es de hacer notar que las industrias más altamente reguladas, tal como las químicas y farmacéuticas, están también entre las más innovadoras, rentables y competitivas.

En la medida en que los productos son aprobados para su manufactura y distribución, quienes regulan la nanotecnología deben aprender de la penosa experiencia del poder nuclear y no escalar tan rápido. La tecnología nuclear se fue a pique en gran medida porque demasiados reactores fueron construidos demasiado rápido, antes que las ganancias, el gobierno y la sociedad en general pudieran aprender de la experiencia a partir de proyectos piloto y pequeños reactores. Los reactores admitían muchas posibilidades que sólo fueron descubiertas después que los costos resultaron mayores a lo previsto, la maquinaria mucho más engorrosa, y los mecanismos regulatorios del ambiente más complicados que los que hubieran sido en aquel momento los correspondientes a fuentes de generación con energías alternativas. Ir despacio mientras se aprende acerca de una nueva tecnología es precisamente lo opuesto de lo que los compradores y vendedores mercantiles tienden a hacer, lo cual simplemente impide que regulaciones gubernamentales firmes alcancen su objetivo.

La creciente controversia sobre nanotecnología también pone de manifiesto lo equivocado que fué haber disuelto la Oficina de Evaluación de Tecnología del Congreso en 1995. Simplemente no es posible gobernar con inteligencia una civilización tecnológica sin agencias intermediarias mandatadas y que reúnan a las mejores mentes de un amplio abanico de expertos, actores y grupos de interés relevantes. La única organización de tal tipo hoy en día en los Estados Unidos (por ejemplo, el National Research Council) está demasiado comprometida con sus miembros –que incluyen, por supuesto, aquellos que trabajan en nanotecnología– para actuar en el proceso como un negociador honesto.

En suma, tal vez lo que mejor describa lo que estamos persiguiendo es la cualidad de “reflectividad”, el proceso mediante el cual la amplia comunidad de participantes interesados sobre la dirección e impactos del avance científico y la innovación tecnológica obtengan una más completa comprensión del contexto social en el cual operan. Este nuevo conocimiento forzosamente se convierte en una base mejor para alcanzar decisiones sobre cómo y hacia dónde moverse en adelante. Los posibles futuros impredecibles de la nanotecnología implican que necesitaremos sobreabundancia de la autoprecaución. También necesitaremos valorar las implicaciones e impactos emergentes de la nanotecnología en tiempo real –en la medida en que nuevos principios, productos, y procesos son desarrollados, pero antes de que proliferen– y aplicar los resultados de lo que hemos aprendido a nuestras formas de deliberación, nuestras estructuras de regulación e instituciones de investigación. Este proceso inteligente de prueba y error nos permitiría aprender de la experiencia a un costo aceptable. Resulta una sorprendente ironía de la innovación tecnológica que a pesar de aplicar toda nuestra inteligencia racional al corto plazo, debemos confiar nuestro bienestar de largo plazo a la esperanza de que las buenas consecuen-

cias imprevistas de nuestras invenciones contrapesen las malas. En la medida en que la potencia de nuestras tecnologías continúa acelerándose, esto parece más que imprudente.

Por fin, considérese uno de los intangibles argumentos de Bill Joy: la miniaturización junto al creciente poder de la computación y la biomanipulación colocan más al alcance la oportunidad de hacer daño, y la hace, como nunca, menos cara y menos dependiente de la compleja infraestructura de investigación institucional. Hasta hace poco las armas de destrucción masiva requerían de enormes laboratorios que costaban miles de millones de dólares. En la otra punta de la escala está Ted Kaczynski, el Unabomber,<sup>5</sup> trabajando desde su cabaña en la oscuridad y procediendo víctima tras víctima con tecnologías que han existido por generaciones, y difundidas mediante el correo convencional. Estos dos extremos están convergiendo. Quien en 2001 envió el correo con ántrax probablemente operó sólo, o desde un muy pequeño grupo, y a partir de condiciones modestas. Ahora pensemos adelante, sobre las futuras implicaciones del experimento de pensamiento de Bill Joy: en lugar de un aburrido matemático, imagine que el Kaczynski del siglo XXI sea un aburrido biólogo molecular que crea un diseño patógeno sin antídotos, y lo difunde a través de la población mediante insectos de nanoescala. En estos momentos la probabilidad de que ocurra algo como esto es imposible de estimar, pero dadas las potenciales consecuencias, ¿no daría lo mejor de sí una civilización inteligente para reducir dicha probabilidad a cero?

## Bibliografía

- ARMSTRONG, J. A. (2001), "Technological Implications of Nanotechnology: Why the Future Needs Us", en Roco y Bainbridge, *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, Washington, DC, National Science Foundation. <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/nanosi-s61.pdf> Consultado el 10 de febrero de 2003.
- BURNELL, Scott, R. (2002), "Biology Aiding Nanotech Researchers", *United Press International*, 13 de diciembre, [http://www.technologyreview.com/offthewire/3001\\_13122002\\_1.asp](http://www.technologyreview.com/offthewire/3001_13122002_1.asp) Consultado el 10 de febrero de 2003.
- CARBON NANOTECHNOLOGIES INCORPORATED (s/f), <http://cnanotech.com/> Consultado el 1 de febrero de 2003.
- CHRISTIE, B. (2000), "Doctors Revise Declaration of Helsinki", *British Medical Journal*, 321, pp. 913. Consultado el 10 de febrero de 2003.
- CRAIGHEAD, H. y K. Leong (1999), "Applications: Biotechnology, Medicine, and Healthcare" en M.C. Roco, S. Williams y P. Alivisatos, *Nanotechnology Re-*

<sup>5</sup>Intelectual norteamericano convertido en ecoterrorista que mató e hirió a sus víctimas con cartas-bomba en los ochenta y noventa (N. del T.).

- search Directions: IWGN Workshop Report. Vision for Nanotechnology Research and Development in the Next Decade*, capítulo 8, WTEC, Loyola College in Maryland. <http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Research.Directions/chapter08.pdf> Consultado el 1o. de febrero de 2003.
- CRANDALL, B.C. (ed.) (1996), *Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance*. Cambridge, MA: MIT Press.
- CRICHTON, Michael (2002), "How Nanotechnology is Changing our World", revista *Parade*, 24 de noviembre, pp. 6-8.
- CRN (Center for Responsible Nanotechnology) (s/f), <http://www.crnano.org/magic.htm> Consultado el 1o. de febrero de 2003.
- CUCETMN (Columbia University Center for Electron Transport in Molecular Nanostructures) (s/f), <http://www.cise.columbia.edu/NSEC/Pages/NSECmain.html> Consultado el 1o. de febrero de 2003.
- DREXLER, K. Eric (1986), "Engines of Destruction" *Engines of Creation*, Garden City, NY, Anchor Press/Doubleday, [www.foresight.org/EOC/EOC\\_Chapter\\_11.html](http://www.foresight.org/EOC/EOC_Chapter_11.html) Consultado el 1 de febrero de 2003.
- DYSON, Freeman (2003), "The Future Needs Us!", *New York Review of Books*, 13 de febrero, pp. 11-13.
- FUKUYAMA, Francis (2002), *Our Posthuman Future*, Nueva York, Farrar Straus & Giroux.
- GILMAN, John J. (2001), "Nanotechnology", *Materials Research and Innovation*, 5, pp. 12-14.
- GINGRICH, Newt. (1999) "We Must Fund the Scientific Revolution.", *Washington Post*, octubre 18.
- ITRI (International Technology Research Institute) (s/f), <http://itri.loyola.edu/nanobase/ind.htm> Consultado el 1 de febrero de 2003.
- KEYSSAR, Alexander (1986), *Out of Work: The First Century of Unemployment in Massachusetts*, Cambridge, Cambridge University Press.
- KURZWEIL, Ray (2001), *The Singularity: A Talk with Ray Kurzweil*, 25 de marzo. [http://www.edge.org/3rd\\_culture/kurzweil\\_singularity/kurzweil\\_singularity\\_index.html](http://www.edge.org/3rd_culture/kurzweil_singularity/kurzweil_singularity_index.html) Consultado el 1 de febrero de 2003.
- LEMANN, Nicholas (1991), *The Promised Land: The Great Black Migration and How it Changed America*, Nueva York, Random House.
- LINDBLOM, Charles E. (1965), *The Intelligence of Democracy*, Nueva York, The Free Press.
- y Edward J. Woodhouse (1993), *The Policy-Making Process*, 3a. ed., Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- MARX, Leo (1987), "Does Improved Technology Mean Progress?", *Technology Review*, enero, pp. 33-41.

- MORONE, Joseph, G. y Edward J. Woodhouse (1986), *Averting Catastrophe: Strategies for Regulating Risky Technologies*, Berkeley, CA, University of California Press.
- (1989), *The Demise of Nuclear Energy?: Lessons for Democratic Control of Technology*, New Haven, Yale University Press.
- MULHALL, Douglas (2002), *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics and Artificial Intelligence Will Transform Our World*, Nueva York, Prometheus Books.
- NANOMIX (s/f), (<http://www.nano.com/index.html>) Consultado el 10. de febrero de 2003.
- NSTC (National Science and Technology Council) (1999), *Nanotechnology, Shaping the World Atom by Atom*, <http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure/> Consultado el 1 de febrero de 2003.
- NUIN (Northwestern University Institute for Nanotechnology) (s/f), <http://www.nsec.northwestern.edu>. Consultado el 1 de febrero de 2003.
- PERRON, L.; L. MOORE, I. Bairati, P.M. Bernard y F. Meyer (2002), "PSA screening and prostate cancer mortality", *Canadian Medical Association Journal*, 166 (5), pp. 586-591.
- POLANYI, Karl (1957), *The Great Transformation: The Political and Economic Origins of Our Time*, Boston, Beacon Press (edición original 1944).
- ROCO, M. y W. Bainbridge (2001), *Societal Implications of Nanoscience*, Washington, D.C., National Science Foundation. <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/nanosummary.pdf> Consultado el 10. de febrero de 2003.
- RPINC (Rensselaer Polytechnic Institute Nanotechnology Center) (s/f), <http://www.rpi.edu/dept/NewsComm/WNCTW/ad14.html> Consultado el 10. de febrero de 2003.
- SERVICE, Robert F. (2000), "Is Nanotechnology Dangerous?", *Science*, 24 de noviembre, 290, pp. 1527.
- STIKEMAN, Alexandria (2002), "Nanobiotech Makes the Diagnosis", *Technology Review*, 105 (4), pp. 65.
- THORNTON, Joe (2000), *Pandora's Poison: Chlorine, Health, and a New Environmental Strategy*, Cambridge, MA, MIT Press.
- WHITE, Lynn T. (1962), *Medieval Technology and Social Change*, Londres, Oxford University Press.
- WILKINSON, Richard G. (1996), *Unhealthy Societies: The Affliction of Inequality*, Nueva York, Routledge.
- WINNER, Langdon (1977), *Autonomous Technology: Technics-out-of-Control as a Theme in Political Thought*, Cambridge, MA, MIT Press
- (1986), *The Whale and the Reactor: The Search for Limits in an Age of High Technology*, Chicago, University of Chicago Press.
- ZUMLA, A. (2002), "Reflexion and Reaction", *The Lancet*, 2, 393.

## Acerca de los autores

GIAN CARLO DELGADO RAMOS, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

ROGER STRAND, Centre for the Study of the Sciences and the Humanities, University of Bergen, Noruega.

NOELA INVERNIZZI, Doctorado en Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas, México.

GUILLERMO FOLADORI, Doctorado en Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas, México.

BERNADETTE BENSUADE-VINCENT, Département de Philosophie, Université Paris X, Francia.

MICHAEL D. MEHTA, University of Saskatchewan, Canadá.

DANIEL SAREWITZ, Consortium for Science, Policy & Outcomes, Arizona State University, Estados Unidos de Norteamérica.

EDWARD WOODHOUSE, Department of Science & Technology Studies, Rensselaer Polytechnic Institute, Estados Unidos de Norteamérica.

# Índice

INTRODUCCIÓN	
<i>Guillermo Foladori y Noela Invernizzi</i> .....	7
Capítulo 1	
SOCIOLOGÍA POLÍTICA DE LA NANOTECNOLOGÍA CIVIL Y MILITAR	
<i>Gian Carlo Delgado Ramos</i> .....	11
Capítulo 2	
ESTUDIOS ELSA EN NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA: UNA OBSERVACIÓN METODOLÓGICA	
<i>Roger Strand</i> .....	53
Capítulo 3	
LA NANOTECNOLOGÍA, OBJETIVACIÓN DE LA NATURALEZA Y EL FUTURO DEL TRABAJO HUMANO	
<i>Guillermo Foladori y Noela Invernizzi</i> .....	65
Capítulo 4	
¿DOS CULTURAS DE LA NANOTECNOLOGÍA?	
<i>Bernadette Bensaude-Vincent</i> .....	85
Capítulo 5	
PRIVACIDAD VERSUS VIGILANCIA O CÓMO EVITAR UN FUTURO NANOPANÓPTICO	
<i>Michael D. Mehta</i> .....	107
Capítulo 6	
CUANDO LOS GNOMOS VIENEN MARCHANDO. IMPLICACIONES DE LA NANOBIOTECNOLOGÍA	
<i>Guillermo Foladori y Noela Invernizzi</i> .....	115
Capítulo 7	
LO PEQUEÑO ES PODEROSO	
<i>Daniel Sarewitz y Edward Woodhouse</i> .....	141
ACERCA DE LOS AUTORES .....	161

AMÉRICA LATINA Y EL NUEVO ORDEN MUNDIAL  
Director: Raúl Delgado Wise

Títulos publicados

¿ADIÓS AL CAMPESINADO? DEMOCRACIA Y FORMACIÓN POLÍTICA  
DE LAS CLASES EN EL MÉXICO RURAL

*Gerardo Otero*

¿SUSTENTABILIDAD?

DESACUERDOS SOBRE EL DESARROLLO SUSTENTABLE

*Guillermo Foladori • Naína Pierri*

*(Coordinadores)*

AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE EN EL SIGLO XXI.

PERSPECTIVA Y PROSPECTIVA DE LA GLOBALIZACIÓN

*Francisco López Segrera • José Luis Grosso*

*Francisco José Mojica • Axel Didriksson • Manuel Ramiro Muñoz*

*(Coordinadores)*

CLANDESTINOS. MIGRACIÓN MÉXICO-ESTADOS UNIDOS

EN LOS ALBORES DEL SIGLO XXI

*Jorge Durand • Douglas S. Massey*

CONTRIBUCIONES AL ANÁLISIS DE LA MIGRACIÓN INTERNACIONAL Y

EL DESARROLLO REGIONAL EN MÉXICO

*Raúl Delgado Wise • Beatriz Knerr*

*(Coordinadores)*

CONTROVERSIAS SOBRE SUSTENTABILIDAD.

LA COEVOLUCIÓN SOCIEDAD-NATURALEZA

*Guillermo Foladori*

COLAPSO Y REFORMA. LA INTEGRACIÓN DEL SISTEMA BANCARIO

EN EL MÉXICO REVOLUCIONARIO, 1913-1932

*Luis Anaya Merchant*

CRÍTICA DE LA ECONOMÍA VULGAR.

REPRODUCCIÓN DE CAPITAL Y DEPENDENCIA

*J. Osorio*



DEL SIGLO AMERICANO AL SIGLO DE LA GENTE.  
LATINOAMÉRICA EN EL VÓRTICE DE LA HISTORIA  
*Jesús Hernández Garibay*

DESPUÉS DEL QUINTO SOL. CLASE Y RAZA EN NORTEAMÉRICA  
*James W. Russel*

EL MÉXICO DE HOY. SUS GRANDES PROBLEMAS  
Y QUÉ HACER FRENTE A ELLOS  
*Alonso Aguilar Monteverde • Fernando Carmona<sup>†</sup>*  
*Guadalupe Barajas Zedillo • Rodolfo Barona Soriano*  
*Agustín González • Jesús Hernández Garibay*  
*Cecilia Madero Muñoz • Héctor Magaña Vargas*  
*Ana I. Mariño • Gastón Martínez • Ana Francisca Palomera*  
*Sofía Lorena Rodiles Hernández • Héctor Roldán Pérez*

EN CONTRA DEL NEOLIBERALISMO:  
EL DESARROLLO BASADO EN LA COMUNIDAD  
*Henry Veltmeyer • Anthony O'Malley*

ENFRENTANDO LA GLOBALIZACIÓN.  
RESPUESTAS SOCIALES A LA INTEGRACIÓN ECONÓMICA DE MÉXICO  
*Laura Carlsen • Tim Wise • Hilda Salazar*  
*(Coordinadores)*

FLEXIBLES Y DISCIPLINADOS. LOS TRABAJADORES BRASILEÑOS  
FRENTE A LA REESTRUCTURACIÓN PRODUCTIVA  
*Noela Invernizzi*

HACIA UNA POLÍTICA DE ESTADO PARA  
LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN MÉXICO  
*Daniel Cazés Menache • Raúl Delgado Wise*  
*(Coordinadores)*

INDÍGENAS MEXICANOS MIGRANTES EN LOS ESTADOS UNIDOS  
*Jonathan Fox • Gaspar Rivera-Salgado*  
*(Coordinadores)*

LA ERA DE LA MIGRACIÓN.  
MOVIMIENTOS INTERNACIONALES DE POBLACIÓN EN EL MUNDO MODERNO  
*Stephen Castles • Mark J. Miller*

LA GLOBALIZACIÓN DESENMASCARADA:  
EL IMPERIALISMO EN EL SIGLO XXI  
*James Petras • Henry Veltmeyer*

LA TRANSFORMACIÓN DE LA UNIVERSIDAD MEXICANA.

DIEZ ESTUDIOS DE CASO EN LA TRANSICIÓN

*Axel Didriksson T. • Alma Herrera M.*  
(Coordinadores)

LOS ESTADOS MEXICANOS. SUS ACTIVOS Y

SU DINAMISMO ECONÓMICO Y SOCIAL

*Vidal Garza Cantú • José Polendo Garza • Francisco García Hernández*

MÉXICO 2006-2012: NEOLIBERALISMO,

MOVIMIENTOS SOCIALES Y POLÍTICA ELECTORAL

*Jan Rus y Miguel Tiniker Salas*

MÉXICO EN EL PRIMER AÑO DE GOBIERNO DE VICENTE FOX

*Raúl Delgado Wise • Carmen Galindo • Luis González Souza*

*Arturo Guillén • José Merced González • Josefina Morales*

*Ana García-Fuentes • Isaac Palacios • Juan José Dávalos*

*Fernando Paz Sánchez • Héctor Díaz Polanco*

MÉXICO EN NUEVA YORK. VIDAS TRANSNACIONALES

DE LOS MIGRANTES MEXICANOS ENTRE PUEBLA Y NUEVA YORK

*Robert Courtney Smith*

NUEVAS TENDENCIAS Y DESAFÍOS

DE LA MIGRACIÓN INTERNACIONAL MÉXICO-ESTADOS UNIDOS

*Raúl Delgado Wise • Margarita Favela*

(Coordinadores)

SANTOS, DURAZNOS Y VINO. MIGRANTES MEXICANOS Y

LA TRANSFORMACIÓN DE LOS HARO, ZACATECAS Y NAPA, CALIFORNIA

*Sandra L. Nichols*

*Nanotecnologías disruptivas. Implicaciones sociales de las nanotecnologías*, se terminó de imprimir en la ciudad de México durante el mes de junio del año 2006.

La edición, en papel de 75 gramos, consta de 2,000 ejemplares más sobrantes para reposición y estuvo al cuidado de la oficina litotipográfica de la casa editora.





## CONOCER PARA DECIDIR

EN APOYO A LA  
INVESTIGACIÓN  
ACADÉMICA

### INSTITUCIONES COEDITORAS

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior	Fundación Mexicana de Estudios Políticos y Administrativos, A.C.	Secretaría de la Reforma Agraria	Universidad Nacional Autónoma de México
Cámara de Diputados, LIX Legislatura	Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa	Simon Fraser University	<i>Centro de Estudios sobre la Universidad</i>
Centro de Estudios de México	Ibero-Amerikanisches Institut	Sociedad Mexicana de Medicina Conductual	<i>Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades</i>
Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C.	Instituto Federal Electoral	Universidad Anáhuac del Sur	<i>Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias</i>
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social	Instituto Iberoamericano para el Fortalecimiento del Poder Legislativo, A.C.	Universidad Autónoma de Aguascalientes	<i>Dirección General de Publicaciones</i>
Centro de Investigación y Docencia Económicas	Instituto Tecnológico Autónomo de México	Universidad Autónoma de Baja California	<i>Facultad de Contaduría y Administración</i>
Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Universidad Autónoma del Estado de México	<i>Facultad de Economía</i>
Consejo Mexicano de Asuntos Internacionales	<i>Campus Ciudad de México</i>	Universidad Autónoma del Estado de Querétaro	<i>Facultad de Estudios Superiores Acatlán</i>
Consejo Nacional para la Cultura y las Artes	<i>Campus Estado de México</i>	Universidad Autónoma de Yucatán	<i>Facultad de Estudios Superiores Aragón</i>
<i>Instituto Nacional de Antropología e Historia</i>	<i>Campus Monterrey</i>	Universidad Autónoma de Zacatecas	<i>Instituto de Geografía</i>
El Colegio de la Frontera Norte, A.C.	<i>Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública</i>	<i>Doctorado en Estudios del Desarrollo</i>	<i>Instituto de Investigaciones Económicas</i>
El Colegio de San Luis	Integración para la Democracia Social, APN	Universidad Autónoma Metropolitana	<i>Instituto de Investigaciones Sociales</i>
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México	Internacional Socialista	<i>Unidad Azcapotzalco</i>	<i>Programa Universitario de Estudios de Género</i>
Fundación Colosio, A.C.	Libertad de Información-México, A.C.	<i>Unidad Iztapalapa</i>	<i>Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad</i>
Fundación Konrad Adenauer, A.C.	Secretaría de Gobernación	<i>Unidad Xochimilco</i>	<i>Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad</i>
	<i>Centro de Estudios Migratorios del Instituto Nacional de Migración</i>	<i>Programa Universitario Integración en las Américas</i>	<i>Seminario de Educación Superior</i>
		Universidad de California Santa Cruz	Universidad Pedagógica Nacional
		Universidad de Guadalajara	Universidad Veracruzana
		Universidad de Occidente	Universitat Autònoma de Barcelona
		Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	

Nanotecnologías



9 789707 017450

Con entusiasmo, científicos y gobiernos nos hablan de la próxima revolución nanotecnológica. Será una revolución radical que cambiará desde los materiales con los que construimos, pasando por los procesos de producción industrial, hasta las propias capacidades humanas, que podrán ser expandidas. Se trata de un novedoso proceso de producción, caracterizado por la manipulación de átomos y moléculas, que puede ser aplicado a prácticamente cualquier rama de la producción. A juzgar por el acelerado crecimiento de las inversiones públicas y privadas en nanociencia y nanotecnología, así como de los primeros empujes del mercado de nanoprodutos, su avance será rápido. Se pronostica que en sólo cinco años el 15 por ciento de todas las mercancías comercializadas contendrán nanocomponentes o serán directamente producidas con nanotecnologías. Este libro aborda el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología desde una perspectiva social. Analiza las posibles implicaciones económicas y sociales de las nanotecnologías y sus posibles impactos en la salud. Se aborda, asimismo, el desafío ético que coloca la hibridación del cuerpo humano y las tendencias ideológicas que la nanociencia impulsa. También analiza el reto que las nanociencias y nanotecnologías representan para las políticas públicas, en el contexto internacional de fuertes inversiones gubernamentales para el desarrollo de esta nueva revolución industrial.

Miguel Ángel  
Porrúa



Universidad  
Autónoma  
de Zacatecas



CONOCER  
PARA DECIDIR  
EN APOYO A LA  
INVESTIGACIÓN  
ACADÉMICA