

# La inmensidad de lo mínimo: Breve introducción a las tecnologías de nano escala

**Grupo ETC**  
**Junio 2004**



“Nada de lo que fabricamos los humanos puede prescindir de los descubrimientos que se hacen hoy en los laboratorios... Las consecuencias a largo plazo de la nanotecnología serán verdaderamente transformadoras, el problema es que no se pueden predecir los detalles de esa transformación del mundo.” —**Thomas Theis**, jefe de investigación de la corporación IBM, en *The Washington Post*, 22 de febrero de 2004.

### **¿Qué es la nanotecnología y porqué es importante para la sociedad civil?**

Desde diversos puntos de vista la nanotecnología —un conjunto de técnicas usadas para manipular la materia en la escala de átomos y moléculas— es la ola tecnológica más alta, amplia y poderosa que nunca el mundo antes había visto. La turbulencia que vendrá con esta ola tecnológica impactará profundamente a la sociedad, especialmente a las comunidades pobres y marginadas. Abrirá nuevos mercados de trabajo y de materias primas, y cambiará para siempre la forma en que vivimos, comemos, producimos, enfrentamos las guerras y definimos la vida. Algunos predicen que la nanotecnología detonará una nueva utopía económica y cultural, combinando abundancia material, desarrollo sustentable y ganancias. Pero la historia sugiere un escenario diferente. En las últimas décadas hemos visto crecer el poder de cada vez menos empresas y la paulatina privatización de la ciencia, lo cual ha mermado la democracia y la crítica constructiva en todo el mundo. Las manipulaciones de nano escala ofrecen un potencial inimaginable para lograr un monopolio sin precedentes de los elementos y procesos fundamentales para la creación de la vida y los recursos naturales. En resumen, las tecnologías de nano escala surgen en un contexto en el cual se convertirán sin duda en la estrategia para el control corporativo de la manufactura industrial, la alimentación, la agricultura y la salud en el siglo 21.

La inversión en nanotecnología alrededor del mundo —tanto del sector público como del privado— suma entre 5 mil y 6 mil millones de dólares por año. Prácticamente todas las compañías de *Fortune 500* están invirtiendo en investigación y desarrollo de nanotecnología junto con cientos de pequeñas compañías que inician en el ramo. Japón, Europa, y Estados Unidos son los países que tienen la mayor inversión por parte del gobierno, con Japón a la cabeza. En Estados Unidos, la inversión del gobierno rebasa los 800 millones de dólares por año, lo cual convierte a la nanotecnología en el proyecto científico más grande financiado públicamente después del proyecto Apollo para enviar un hombre a la luna. (El Departamento de Defensa recibe la parte mayoritaria del dinero para nanotecnología del gobierno de Estados Unidos). Al menos 35 países tienen algún tipo de programa nacional de investigación sobre nanotecnología: Korea invierte casi 200 millones de dólares al año, y Taiwán y China más de cien millones.<sup>1</sup> La Fundación Nacional para la Ciencia de Estados Unidos (NSF, por sus siglas en inglés) había pronosticado que el mercado global para los procesos y productos nanotecnológicos alcanzaría un billón de dólares para el 2015, sin embargo, debido a que los avances en la nanotecnología están ocurriendo más rápido de lo esperado, la NSF rectificó su pronóstico y ahora dice que el billón de dólares se alcanzará entre el 2011 y 2012.

### **¿Cuáles son las implicaciones de esta ola nanotecnológica?**

Podemos imaginar las implicaciones de esta próxima ola tecnológica —al menos en términos generales— si revisamos la historia del cambio tecnológico de los últimos 500 años. La historia muestra que las olas tecnológicas, al menos al principio, desestabilizan más las vidas de los pobres y vulnerables.<sup>2</sup> Los que tienen la riqueza y el poder usualmente son capaces de ver (y controlar) el impacto de la próxima ola tecnológica y prepararse para subirse en su cresta. Los ricos tienen la flexibilidad económica para permanecer a flote mientras esos que apenas pueden mantener sus cabezas afuera del agua son arrasados junto con las partes obsoletas de la vieja economía. La ola crea oportunidades económicas para los ricos, pero los pobres son revolcados por la demanda repentina de nuevas habilidades técnicas y diferentes materias primas.

**Efectos revolucionarios de la ola:** “La nueva riqueza que se acumula en un extremo es proporcional a la pobreza que se extiende en el otro... los ricos se hacen más ricos con arrogancia y los pobres más pobres sin tener ninguna responsabilidad en ello.”<sup>3</sup> **Carlota Pérez**, investigadora visitante, Universidad de Cambridge.

Considere un ejemplo en solo un sector: el potencial de las innovaciones de nano escala para afectar el mercado del caucho. Los investigadores están diseñando partículas de nano escala para fortalecer y extender la vida de los neumáticos de automóviles así como nano materiales que pudieran usarse como sustitutos del caucho natural. Si los neumáticos nano diseñados y otros productos como los guantes médicos requieren menos o nada de caucho en el futuro, ello significará menor demanda de caucho natural, con impactos devastadores en las comunidades que sobreviven del caucho en todo el mundo, especialmente en Malasia y Tailandia, los mayores productores en el planeta. El punto no es que las comunidades que sobreviven del caucho deban mantenerse así para siempre, sino que la nano ola implica disrupciones socioeconómicas para las cuales la sociedad en general y los pueblos y comunidades rurales en particular están precariamente preparados. Si bien puede haber ventajas ambientales al reemplazar algunos materiales convencionales con nuevos nano materiales, los beneficios potenciales no impedirán que los pobres sean arrasados por la marea.

**Y a fin de cuentas, ¿qué es lo nano?** “Nano” es una medida, no un objeto. A diferencia de “biotecnología”, donde la palabra misma explica que la vida (*bios*) es manipulada por el arte humano (*techne*), “nanotecnología” indica solamente el tamaño del arte. Un “nanómetro” (nm) mide una mil millonésima parte de un metro. Los ojos más jóvenes y sanos no pueden ver cosas más pequeñas que un milímetro, y un nanómetro es un millón de veces más pequeño que eso. Incluso la mayoría de los microscopios no pueden ver cosas en nano escala. Se necesitan 10 átomos de hidrógeno alineados uno junto al otro para igualar el largo de un nanómetro. Una molécula de ADN mide aproximadamente 2.5 nanómetros de ancho. Un glóbulo rojo es gigantesco en comparación: 2 mil veces más grande que el ADN, 5 mil nanómetros de diámetro.

Las “materias primas” de la nanotecnología no son madera, caucho o acero. Son los elementos de la tabla periódica a partir de los cuales se constituye todo incluyendo la madera, el caucho, el acero... y el ADN. Poder hacer manipulaciones precisas en la nano escala abre un mundo de posibles aplicaciones y cruza todos los sectores de la economía: se pueden fabricar computadoras más pequeñas y veloces, los medicamentos pueden alcanzar los órganos del cuerpo de manera más total y pueden dirigirse a células específicas; los catalizadores, (usados para acelerar las reacciones químicas, incluyendo los procesos de refinación del petróleo) pueden ser más reactivos; los sensores pueden monitorear todo —cultivos, ganado, herramientas y armas químicas según lo pida el cliente— con mucha mayor precisión; y los materiales en general pueden ser más fuertes, ligeros e “inteligentes”.

“Usted nunca hubiera imaginado que fuera posible tomar un átomo y trasladarlo unos cuantos diámetros atómicos a otro lugar. Es equivalente a poder mover un planeta de una órbita a otra.” **Joseph Strosio**, físico, National Institute of Standards and Technology, Maryland, Estados Unidos<sup>4</sup>

**Si la nanotecnología puede hacer todo eso, ¿cuál es el problema?** Hay al menos cuatro problemas, y son muy grandes.

**Gran problema número 1: El control de las tecnologías de nano escala lo tienen las corporaciones.** Recordemos que casi tan pronto como los científicos lograron *manipular* la vida mediante la ingeniería genética, las corporaciones encontraron la manera de *monopolizarla*. De la misma forma, tan pronto como se generalicen las manipulaciones en el nivel atómico, comenzarán a patentarse las tecnologías, insumos y procesos de nano escala. Sabemos de un antecedente muy peligroso: en los años sesenta Glenn Seaborg (Estados Unidos), ganador del Premio Nóbel de física en 1951, “inventó” el elemento químico Americium (no. 95 en la tabla periódica), por lo cual adquirió

la patente número US # 3,156,523. Las patentes que ya se han dado sobre organismos genéticamente modificados facilitarán las patentes que hoy se otorguen sobre organismos y materiales atómicamente modificados. En esencia, patentar átomos y moléculas es el camino para monopolizar los elementos básicos que son los bloques de construcción del mundo natural completo. La sociedad civil y los gobiernos deben radicalizar la demanda de “no patentes sobre la vida”, evitando los monopolios sobre los componentes con los que se construye la vida y todo lo que hay en el universo.

“Es verdad que no se puede patentar un elemento encontrado en su forma natural, sin embargo, si se crea una forma purificada de ese elemento que tenga usos industriales —por ejemplo, el neón— tenemos una patente segura.” **Lila Feisee**, Director de Relaciones Gubernamentales y Propiedad Intelectual de BIO, la Biotechnology Industry Organization.<sup>5</sup>

“Lo que se patenta es: ‘Elemento 95.’” — La patente más breve de la historia, otorgada a **Glenn Seaborg**, 10 de noviembre de 1964—

**Gran problema número 2: Convergencia.** Con base en la “unidad de la materia en la nano escala” (es decir, toda la materia puede reducirse a átomos y moléculas), científicos y gobiernos en Estados Unidos y Europa están desarrollando una estrategia para fusionar las ciencias (informática, biotecnología, nanotecnología y ciencias cognitivas). Parten de la lógica de que los bloques constructores de toda la materia, fundamentales para todas las ciencias, se originan en la nano escala.<sup>6</sup> Puesto que todos los materiales y procesos operan “de abajo hacia arriba” (comenzando con átomos que se combinan para formar moléculas y todas las estructuras mayores), los entusiastas de la convergencia piensan que pueden controlar eventos en la macro escala manipulando eventos en la nano escala. Por ejemplo, en la nano escala, los científicos ya pueden sintetizar artificialmente moléculas de ADN. El ADN controla la formación de proteínas, que en última instancia determinan la salud y el comportamiento del organismo entero. Los comportamientos de organismos individuales determinan el comportamiento colectivo a una escala mayor y por lo tanto el comportamiento de la sociedad misma. Según este punto de vista jerárquico y reduccionista, cada sustancia, así como cada sistema cultural o biológico, es resultado de procesos moleculares que operan en diferentes niveles.

**El asalto atómico: ¡BANG!** En el contexto de la ola nano tecnológica, “convergencia” se refiere a la fusión de: 1. la nanotecnología con la biotecnología (posibilitando el control de la vida mediante la manipulación de los genes); 2. con las tecnologías de información (posibilitando el control del conocimiento mediante los bits, y 3. con las neurociencias cognitivas (para controlar la mente manipulando las neuronas). El control de los bits, átomos, neuronas y genes nos hace pensar en una teoría del pequeño **BANG** —en contraste con la teoría denominada del Big Bang— que sueña con lograr un dominio casi divino sobre todo el conocimiento, la materia, la mente y la vida.

Según la teoría del Pequeño Bang, las neuronas pueden rediseñarse de modo que nuestras mentes “hablen” directamente a las computadoras o a las prótesis; los virus pueden ser diseñados para actuar como máquinas o, potencialmente, como armas; las redes cibernéticas pueden fusionarse con redes biológicas para desarrollar inteligencia artificial o sistemas de espionaje. Según el gobierno de Estados Unidos, la convergencia tecnológica “mejorará el desempeño humano” en el trabajo, en la competencia, en el salón de clases y en el campo de batalla.<sup>7</sup>

“La nanotecnología es un ‘multiplicador de fuerzas’. Nos hará más rápidos y fuertes en la guerra.” **Clifford Lau**, investigador consultor en la oficina de investigación básica del Pentágono, 19 de abril, 2004.<sup>8</sup>

Si bien hay que vigilar los desarrollos nano tecnológicos, no podemos descuidar el avance de la convergencia BANG. Lo que es más escalofriante y debe ser debatido por la sociedad, es la brecha cada vez más amplia que podría abrirse entre quienes serán “mejorados” mediante la convergencia

tecnológica y aquellos que permanecerán “no mejorados” ya sea por elección o por falta de elección. La mercadotecnia BANG busca cambiar nuestro concepto de lo que es “normal”, causándonos angustia por “estar al día” o quedar rezagados. Sin embargo los beneficios que la convergencia BANG pudiera traer, no serán baratos ni equitativamente distribuidos en el contexto actual del control que ejercen las empresas sobre la investigación en ese ramo. ¿Qué pasará a los que no se “mejoren”? ¿se convertirá el mejoramiento físico en un imperativo social y en un mandato judicial? Una decisión reciente en un juzgado de Estados Unidos permitió que los funcionarios de una prisión medicaran por la fuerza a un condenado a muerte para que estuviera lo suficientemente sano para su ejecución. Esto nos da una idea de la complejidad que implica la noción de “mejoramiento”.<sup>9</sup> Por su parte, la Suprema Corte de Justicia, también de Estados Unidos, estableció que la ley para ciudadanos con discapacidades (Americans with Disabilities Act) no defiende a personas con males corregibles. Esto sugiere que la discapacidad será vista cada vez más como un reto tecnológico que como un problema social y los derechos de los discapacitados serán más erosionados.<sup>10</sup> ¿Cuánto tiempo pasará antes de que la divergencia de opiniones sea vista como un mal “corregible” también?

**Gran problema número 3: Nanobiotecnología y “plaga verde”.** La nanobiotecnología —convergencia de ingeniería, biotecnología, biología y química— constituye el principal interés de los inversionistas en tecnologías de nano escala. Desde 1999, 52% de los 900 millones de dólares en capital de riesgo para financiar la nanotecnología se ha otorgado a los laboratorios y compañías de nanobiotecnología que comienzan sus actividades.<sup>11</sup>

Las metas de la nanobiotecnología son variadas:

- 1) Incorporar materiales no vivos a organismos vivos (para los sistemas de suministro de medicamentos o para sensores que monitoreen la química sanguínea).
- 2) Creación de nuevos materiales sintéticos con componentes biológicos (como plásticos con proteínas incorporadas pensando en la auto regeneración del material).
- 3) Creación de vida artificial para desempeñar funciones industriales (como microorganismos que se alimentaran de los desechos de sustancias industriales o de los gases del efecto invernadero). Algunos de estos organismos artificiales incorporarían materiales sintéticos nano diseñados.

Incorporar materia inerte a los organismos vivos no es nuevo, (son muy comunes los marcapasos o los huesos artificiales), la novedad está en hacerlo en la nano escala. Trabajar en la nano escala puede facilitar la biocompatibilidad porque en ese nivel no hay distinciones claras entre el material biológico y el sintético. Sin embargo, el lado oscuro de la “biocompatibilidad” es que los nano materiales —extraños al cuerpo humano, que no está diseñado para incorporarlos— pueden burlar al sistema inmunológico o cruzar la barrera de sangre del cerebro. Las consecuencias que puedan tener los nano materiales en la salud humana no son claras. Estudios científicos recientes con ratas y peces ya demostraron los efectos nocivos de algunos nano materiales en el cerebro y otros órganos.<sup>12</sup>

La característica única de los organismos vivos —ya se trate de microbios, maíz o mamíferos— es su habilidad para tomar pedazos de elementos químicos de tamaño nanométrico bajo la forma de moléculas de ADN, y reproducirlas con gran rapidez. Esta “plataforma de manufactura” auto replicante es tan sofisticada y trabaja tan bien, que los científicos están copiándola en vez de inventar algo nuevo. Es decir, buscan reconfigurar la vida para que sirva a la industria, lo cual tiene sentido económico y tecnológico. Se hizo antes, con la Revolución Verde, y nuevamente con la Revolución Genética. Y es que la “vida”, después de todo, “es barata.”

“Mucho de lo que fabricamos ahora será cultivado en el futuro mediante organismos genéticamente modificados que pueden llevar a cabo manipulaciones moleculares bajo control digital. Nuestros cuerpos y el material en nuestras fábricas serán lo mismo... comenzaremos a vernos a nosotros mismos simplemente como parte de la infraestructura de la industria.” **Rodney Brooks**, director del laboratorio de inteligencia artificial del Massachusetts Institute of Technology (MIT)<sup>13</sup>

La nanotecnología puede producir organismos que sigan desempeñando sus funciones naturales como procrear, pero que sean más poderosos según su diseño humano: por ejemplo una bacteria *E. Coli* superinteligente que combata los derrames de petróleo; o bien un polímero con proteínas incorporadas, utilizado para fabricar puertas de automóvil que se reparen automáticamente después de una colisión. Plantas tan duras que las plagas no puedan morder, pieles anti inflamables, etc. Las posibilidades son infinitas.

Mientras que la “Plaga Gris” (nano robots auto replicantes que se salen de control y desestabilizan el ecosistema global) ha acaparado la atención de los medios, el escenario futuro más probable es uno de “Plaga Verde”, fusión entre materia viva e inerte, organismos y productos híbridos que se comportarán de formas impredecibles. En un escenario como este un microbio nano diseñado puede tener voluntad propia. La industria no ha podido controlar y contener los transgenes de organismos genéticamente modificados, ¿qué pasará cuando un organismo artificial tenga “presencia adventicia”?<sup>14</sup>

Desde 2002, Craig Venter (famoso por mapear el genoma humano) y su Institute for Biological Energy Alternatives (IBEA, instituto para las alternativas en energía biológica) ha obtenido 12 millones de dólares del Departamento de Energía del gobierno de Estados Unidos para crear nuevas formas de vida en laboratorio, diseñadas para producir energía o limpiar los gases del efecto invernadero. Mientras Venter y otros biotecnólogos están construyendo nuevas formas de vida a partir de pedazos de microbios, los nanotecnólogos están muy ocupados construyendo máquinas biológicas —o máquinas híbridas, empleando materia tanto biológica como no biológica, de “abajo hacia arriba”. Las implicaciones que esto tiene quitan el aliento: no solo hablamos de nuevas especies y nueva biodiversidad, sino de formas de vida diseñadas por humanos y auto replicantes.

**Gran problema número 4: la incertidumbre científica en torno a la toxicidad de las nano partículas y el vacío regulatorio.** El mercado actual para nano partículas es pequeño, pero los analistas predicen que tendrá un valor de casi mil millones de dólares el próximo año (2005).<sup>15</sup> Algunas de las compañías más grandes del mundo (DuPont, BASF, L’Oreal, Hewlett-Packard, Mitsubishi, Toyota, Unilever, Kraft e IBM) así como algunas de las más pequeñas (NanoProducts, Naphase, Altair) están impulsando la investigación sobre nano materiales y nano productos.

Las partículas de nano escala se comportan de formas diferentes a las macro partículas del mismo material. Solo reduciendo el tamaño, sin cambiar la sustancia, los materiales pueden ser más fuertes o más ligeros o más solubles al agua o más resistentes al calor o conducir mejor la electricidad. Una sustancia que luce roja si mide un metro, puede ser verde si la convertimos en nano partícula; algo que es suave y maleable en la macro escala, puede ser más fuerte que el acero en la nano escala. Un sólo gramo de material catalizador, hecho de partículas de 10 nanómetros de diámetro es 100 veces más reactivo que la misma cantidad del mismo material de partículas de un micrómetro de diámetro (1000 veces más grande que un nanómetro).<sup>16</sup> La industria está explotando los cambios en las propiedades de los materiales en la nano escala para crear nuevos productos y nuevos mercados.

El impacto potencial de las nano partículas en el ambiente y en la salud humana es enorme. Aunque los datos sobre la toxicidad de las nano partículas son muy escasos, hay cantidad de productos que las contienen a disposición del consumidor, sobre todo alimentos, cosméticos y bloqueadores de sol. Las nano partículas no están reguladas ¡por ningún gobierno en el mundo! Un estudio realizado

en mayo de 2004 reveló que las moléculas de carbono en nano escala (llamadas buckyballs) pueden causar daño en el cerebro de los peces.<sup>17</sup> Un estudio de 2003 sobre los efectos de los nano tubos de carbono<sup>18</sup> en los riñones de ratones de laboratorio reveló que los nano tubos son más tóxicos que el polvo de cuarzo.<sup>19</sup> Otros científicos han presentado resultados diferentes pero igual de inquietantes acerca de la toxicidad de los nano tubos.

En mayo de 2004, la comisión de la Unión Europea encargada de la protección de la salud de los consumidores (UE Health and Consumer Protection Directorate-General) publicó un informe en el que advierte que “algunas de las nano partículas que se están diseñando son motivo de serias preocupaciones” y que “no pueden predecirse (o derivarse) los efectos adversos de las nano partículas a partir de la toxicidad del material conocido en su versión macro.”<sup>20</sup> En otras palabras, solo porque sabemos cómo se comportarán en el ambiente las partículas de tamaño micro de una sustancia, no significa que tengamos una pista de cómo se comportarán las nano partículas de la misma sustancia. El reporte recomendó “la eliminación o la reducción al mínimo de la producción y liberación involuntaria de partículas de nano escala.”<sup>21</sup>

### **Asumamos que los científicos resuelven los problemas potenciales de la nanotecnología.**

**¿Podría esta ola tecnológica traer beneficios, especialmente a los pobres?** Es posible, pero la historia muestra lo contrario. Como prometieron los entusiastas de la biotecnología, la tecnología nuclear y la química, ahora los promotores de la nanotecnología aseguran que resolverán problemas de hambre y pobreza, curarán el cáncer y limpiarán el ambiente. La verdad simple es que las nuevas tecnologías no pueden resolver viejas injusticias. La tecnología no puede sustituir la falta de políticas sociales sanas. Como lo han señalado algunos científicos, la nanotecnología posiblemente traerá diagnósticos médicos mejores y más baratos, tanto para las personas como para los cultivos; posiblemente mejore la purificación del agua y el desempeño de las celdas solares. Más aún, la nanotecnología podría reducir la demanda de materias primas, incrementar el reciclaje de materiales y abatir los costos de energía y transporte. Pero incluso si podemos diagnosticar mejor las enfermedades, ¿serán los padecimientos de los pobres el objetivo de la investigación manejada por las corporaciones? ¿los medicamentos patentados —resultado de esa investigación— serán más económicos?

En el contexto actual del comercio mundial y los sistemas de financiamiento y patentes (una de las formas que asume la globalización), el control de las nuevas tecnologías permanecerá en manos de los ricos. Los regímenes de propiedad intelectual y los oligopolios, junto con las alianzas entre gobiernos siempre han logrado imponer cuáles tecnologías deben impulsarse y a qué intereses deber servir.

**¿Podríamos detener la inundación, incluso si no podemos con las olas?** Los gobiernos están comenzando a reconocer que los productos de la nanotecnología requieren regulaciones especiales. Sin embargo, en su deseo por complacer a la industria, ¿tratarán de ajustar las regulaciones existentes para crear una apariencia de responsabilidad? ¿o propondrán que las regulaciones sean “voluntarias”? Cualquiera que sea el escenario las regulaciones no son suficientes. La sociedad debe comprometerse profundamente en una discusión sobre las implicaciones socio económicas y ambientales de las tecnologías de nano escala. Todos estos asuntos deben debatirse con apertura e información en los niveles local, nacional e internacional. La comunidad internacional podría crear un nuevo organismo con el mandato de monitorear, evaluar y aceptar o rechazar las nuevas tecnologías y sus productos, una Convención Internacional para la evaluación de nuevas tecnologías. (ICENT, por sus siglas en inglés).

Nuestra meta a treinta años es lograr un control tan exquisito de la genética de los sistemas vivientes, que en vez de cultivar un árbol, cortarlo y hacer una mesa, seamos capaces de hacer crecer directamente la mesa.<sup>22</sup>

**Rodney Brooks**, director del laboratorio de inteligencia artificial del MIT.

## NOTAS:

- <sup>1</sup> Anónimo, *AIST Today*, No. 10, otoño de 2003. Disponible en Internet: [http://www.aist.go.jp/aist\\_today/2003\\_nanotech1\\_02.html](http://www.aist.go.jp/aist_today/2003_nanotech1_02.html) (disponible el 23 de abril de 2004).
- <sup>2</sup> Para conocer sobre los impactos negativos de la Revolución Industrial británica sobre la salud del promedio de la población, por ejemplo, ver Anónimo, “Bigger is Better”, en *The Economist*, 28 de febrero de 1998. Ver también Carlota Pérez, *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*, 2002.
- <sup>3</sup> Carlota Pérez, *Technological Revolutions and Financial Capital*, pp. 4-5.
- <sup>4</sup> Citado en Marsha Walton “Will nanotech save the world or is it mostly hype?” 16 de abril del 2004. Disponible en Internet: <http://www.cnn.com/2004/TECH/science/04/15/nanotech.ideas/> (disponible el 19 de mayo de 2004).
- <sup>5</sup> De una conferencia de Lila Feisee, disponible en Internet: (desde el 2 de junio de 2004), <http://www.bio.org/speeches/speeches/041101.asp>
- <sup>6</sup> Mihail Roco y William Sims Bainbridge, editores, *Converging Technologies for Improving Human Performance*, reporte de la NSF/DOC, junio de 2002.
- <sup>7</sup> La frase publicitaria para la convergencia tecnológica (NBIC, nombre del proyecto del gobierno de Estados Unidos), “mejorar el desempeño humano”, ha sido recientemente degradada a “mejorar el potencial humano”, debido a las preocupaciones que surgieron entre la sociedad civil y algunos científicos.
- <sup>8</sup> Citado en Ted Leventhal, “Pentagon official says nanotechnology a high priority, 19 de abril de 2004. Disponible en Internet, <http://www.govexec.com/dailyfed/0404/041904td1.htm> (disponible el 1 de junio de 2004).
- <sup>9</sup> Kate Randall, “Mentally ill Inmate Put to Death after Medical ‘Treatment’ Prepares Execution”, 8 de enero de 2004. Disponible en Internet: [http://www.cognitiveliberty.org/dll/singleton\\_executed.html](http://www.cognitiveliberty.org/dll/singleton_executed.html) (disponible el 26 de mayo de 2004).
- <sup>10</sup> Para ver las interpretaciones de la decisión de la Suprema Corte sobre la American with Disabilities Act, consulte: [http://www.ncd.gov/newsroom/publications/supremecourt\\_adachart.html](http://www.ncd.gov/newsroom/publications/supremecourt_adachart.html) (disponible el 26 de mayo de 2004).
- <sup>11</sup> Robert Paull *et al.*, “Investing in nanotechnology” en *Nature Biotechnology*, octubre de 2003, p. 1146.
- <sup>12</sup> Ver, por ejemplo, Barnaby J. Feder, “Heath Concerns in Nanotechnology”, en *The New York Times*, 29 de marzo de 2004.
- <sup>13</sup> Rodney Brooks, “The Merger of Flesh and Machines”, en *The Next Fifty Years: Science in the First Half of the Twenty-First Century*, ed. John Brockman, 2002, p. 191.
- <sup>14</sup> “Presencia adventicia” es un término usado por la industria biotecnológica para referirse a la contaminación involuntaria de una semilla, grano o producto comestible por otro. Según BIO (Biotechnology Industry Organization), “hay varios factores que contribuyen a mezclar involuntariamente productos biotecnológicos aprobados de lo cual resultan productos desconocidos, ajenos a la investigación biotecnológica y al control del laboratorio: flujo de polen, voluntarismo, la mezcla durante la cosecha, transportación, almacenaje, procesamiento, error humano, y accidentes, todo ello puede tener un papel en la presencia adventicia.” Ver <http://www.bio.org/foodag/background/adventitious.asp> (disponible el 2 de junio de 2004).
- <sup>15</sup> El estimado se basa en investigación de Business Communications Co., Inc. Ver “Altair Nanotechnologies Awarded Patent for its Nano-sized Titanium Dioxide,” 4 de septiembre de 2002. Disponible en Internet: <http://www.businessinvestor.com> (disponible el 1 de junio de 2004).
- <sup>16</sup> Claudia Hume, “The Outer Limits of Miniaturization”, en *Chemical Specialties*, septiembre de 2000.
- <sup>17</sup> Mark T. Sampson, “Type of buckyball shown to cause brain damage in fish”, *Eurekalert*, 28 de marzo de 2004. Disponible en Internet, [www.eurekalert.org](http://www.eurekalert.org) (disponible el 1 de junio de 2004).
- <sup>18</sup> Los nano tubos son otra forma del carbono en nano escala.
- <sup>19</sup> Jenny Hogan, “How safe is nanotech” Reporte especial sobre nano contaminación. En *New Scientist*, vol. 177, no. 2388, 29 de marzo de 2003, p. 14.
- <sup>20</sup> European Comisión, Community Health and Consumer Protection, *Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis on the Basis of a Workshop Organized in Brussels on 1-2 march 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Comision*, pp. 11, 17.
- <sup>21</sup> *Ibid*, p. 27
- <sup>22</sup> Rodney Brooks, “The Merger of Flesh and Machines”, en *The next Fifty Years: Science in the First Half of the Twenty-First Century*, editado por John Brockman, 2002, p. 187.



---

El Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, anteriormente RAFI, es una organización internacional de la sociedad civil con sede en Canadá. El Grupo ETC está dedicado a la conservación y fortalecimiento de la diversidad ecológica y los derechos humanos. Apoya el desarrollo de tecnologías socialmente responsables que sirvan a los pueblos marginados y también discute a nivel internacional asuntos relacionados con el desempeño de las autoridades intergubernamentales y el poder corporativo.

Este folleto, *La inmensidad de lo mínimo: breve introducción a las tecnologías de nano escala*, está basado en un estudio amplio del Grupo ETC, ***La inmensidad de lo mínimo: de los genomas a los átomos***. Todas las publicaciones del Grupo ETC, incluyendo *La inmensidad de lo mínimo* pueden descargarse sin costo de nuestro sitio web: [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org). Para ordenar copias impresas de las publicaciones, por favor contáctenos: [etc@etcgroup.org](mailto:etc@etcgroup.org); en castellano [veronica@etcgroup.org](mailto:veronica@etcgroup.org).

**El Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, Grupo ETC antes RAFI, es una organización internacional de la sociedad civil, cuya secretaría internacional está en Canadá. El Grupo ETC se dedica a la promoción de la diversidad cultural y ecológica y de los derechos humanos. El Grupo ETC es miembro del proyecto CBDC (Conservación y desarrollo de la biodiversidad con comunidades de pequeños agricultores), una iniciativa experimental de colaboración entre 14 organizaciones de la sociedad civil e instituciones públicas de investigación. El proyecto CBDC tiene como objetivo la exploración de programas dirigidos por las comunidades en la conservación y promoción de la diversidad agrícola. Más información en [www.cbdcprogram.org](http://www.cbdcprogram.org)**