



DE  
LOS GENOMAS  
A  
LOS ÁTOMOS

# LA INMENSIDAD DE LO MÍNIMO

Tecnología atómica:  
*Tecnologías*  
*que convergen*  
*en la*  
*nano escala*



DE

LOS GENOMAS

A

LOS ÁTOMOS

---

# LA INMENSIDAD **DE LO MÍNIMO**

**Tecnología atómica:**

*Tecnologías*

*que convergen*

*en la*

*nano escala*



Enero de 2003



## Contenido

5	<b>Resumen: La tecnología atómica en una página</b>
6	<b>Contexto: La convergencia de tecnologías</b>
9	CLAVES HISTÓRICAS I: La tecnología: <i>¿mejoras que empobrecen?</i>
10	Evaluación ETC
12	<b>Sección uno · ¿Qué es la tecnología atómica?</b>
22	<b>Sección dos · Cuatro [riesgosos] saltos a la inmensidad de lo mínimo</b>
24	PASO UNO: lo nano a granel: la producción de nano partículas
27	¿Cuáles son los riesgos?
28	Evaluación ETC
29	PASO DOS: nano fabricación: construir con viruta atómica
	Evaluación ETC
30	PASO TRES: manufactura molecular —Goliats invisibles
33	¿Cuáles son los riesgos?
35	PASO CUATRO: Átomo y Eva —nano tecnología biónica
39	¿Cuáles son los riesgos?
	Evaluación ETC
40	CLAVES HISTÓRICAS II: El despliegue de la vida: <i>logros del barro</i>
44	<b>Sección tres · ¿Funcionarán las tecnologías atómicas?</b>
45	MIRA QUIÉN HABLA: los nano aplicaditos —las cifras científicas
47	MIRA QUIÉN PATENTA: nano pescadores y nano promotores —las corporaciones multinacionales y las compañías de innovación nanométrica
	MIRA QUIÉN PAGA: nano nadies y nano compadres —los contribuyentes y el padrino público a la investigación
48	MIRA LO QUE (YA) OCURRE: nano expendios —de la investigación a los ingresos
49	Evaluación ETC
52	<b>Sección cuatro · ¿A quién y dónde impactará?</b>
54	NANOPOLIOS
	LA TECNOLOGÍA ATÓMICA NO SE DETENDRÁ EN LA NANO ESCALA
55	MANUFACTURA Y MATERIALES
56	ELECTRÓNICA, ENERGÍA E INFORMÁTICA
57	FÁRMACOS Y CUIDADOS DE LA SALUD
	APLICACIONES MILITARES
58	AGRICULTURA
59	PROCESADO DE ALIMENTOS
60	NO SI SE PODRÁ, SINO CUÁNDO
	SEIS MITOS RECICLABLES
	Evaluación ETC
64	<b>Sección cinco · ¿A quién le importa?</b>
65	NANO APLICADITOS: las instituciones científicas
	NANO PROMOTORES: las compañías de innovación nanométrica
68	LOS GIGANTES DE LA TECNOLOGÍA ATÓMICA: Mogules multinacionales de la materia
	NANÓCRATAS: los respaldos gubernamentales
72	NANOS DEL SUR
75	NANO GUARDAS: los grupos de la sociedad civil que supervisan las nuevas tecnologías
78	<b>Sección seis · Conclusiones y recomendaciones de políticas públicas</b>
79	NUESTRO FUTURO CONVERGENTE
81	Evaluación ETC
82	<b>Fuentes y recursos: Apéndices</b>
83	a. La red de lo “nano”
85	b. Nano gramática
88	<b>El Grupo ETC Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración</b>



## RESUMEN

### La tecnología atómica en una página

**ASUNTO:** Las tecnologías del anterior medio siglo —los transistores, los semi conductores y la ingeniería genética— han buscado todas reducir el tamaño, los materiales y los costos conforme incrementan el poder. Estamos a punto de dar un salto mucho mayor hacia la inmensidad de los mínimos. Nuestra capacidad de manipular la materia transita ahora de los genes a los átomos. Mientras la sociedad civil y los gobiernos se preocupan por la modificación genética, un impresionante conjunto de iniciativas industriales fija sus miras en una revolución científica que podría modificar la materia y transformar todos los aspectos del trabajo y la vida. Este informe presenta una serie de herramientas y técnicas a las que llamamos *tecnologías atómicas*, y que incluyen las nano partículas, la nano biotecnología, la nano fabricación y la manufactura molecular. También se describe aquí la convergencia, en ciernes, de la biotecnología, la nano fabricación, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas, siendo la fuerza unificadora la manipulación de la materia en escala nanométrica, o *nano escala*. La Sección Uno (*¿Qué es la tecnología atómica?*) presenta tales tecnologías y la Sección Tres (*¿Funcionarán las tecnologías atómicas?*) ofrece cuatro criterios para medir sus perspectivas comerciales.

**IMPACTO:** Toda forma de trabajo y empresa saldrá afectada. La Sección Dos (*Cuatro [riesgosos] saltos a la inmensidad de lo mínimo*) describe el panorama presente y futuro de dicha tecnología. Se estima que el mercado actual global de las tecnologías nanoescalares es del orden de los 45 mil millones de dólares.<sup>1</sup> En la actualidad ya juegan un papel habilitador en la biotecnología, en la farmacéutica, en el almacenamiento de energía e información y en la próspera industria de materiales. Se predice que los circuitos nano fabricados acapararán el mercado de semi conductores basados en el silicio en un lapso de diez años (los dividendos globales de este sector rebasarán los 300 mil millones de dólares para 2006). Las tecnologías entrarán al ámbito de la manufactura convencional incluyendo todo: desde aparatos domésticos hasta vestuario y comida. Para 2015, el mercado mundial de todos los pasos de la tecnología atómica excederá el billón de dólares y el mundo tendrá que lidiar con organismos biónicos: ver la Sección Dos (*Átomo y Eva*).<sup>2</sup> Aunque este impacto se sentirá primero en los países del Norte, la tecnología atómica —como en su momento la biotecnología— acarreará prontas consecuencias económicas y ambientales también para los países del Sur.

**RIESGOS:** Algunos cuantos científicos (y menos gobiernos) reconocen que la tecnología atómica entraña tremendas oportu-

nidades y horribles riesgos sociales y ambientales. La tecnología atómica permitirá que la industria monopolice las plataformas de manufactura a nivel atómico que apuntalan toda la materia animada e inanimada. Una preocupación importante se refiere a la actual producción a granel de materiales y nuevas formas del carbono con características desconocidas que no se han sometido a prueba. En el futuro, la producción masiva de nano materiales únicos y de maquinaria auto replicable, implica riesgos incalculables. La tecnología atómica podría significar también la creación y la combinación de nuevos elementos y la ampliación de las armas de destrucción masiva. La Sección Cuatro (*¿A quién y dónde impactará?*) continúa las notas previas en torno a los riesgos y añade ejemplos sectoriales.

**ACTORES:** El financiamiento público en Estados Unidos, Japón y Europa es del orden de los 2 mil millones de dólares por año y aumenta vertiginosamente. Están comprometidos en ello las principales corporaciones de todos los sectores industriales, desde Bayer a Boeing, de Motorola a Mitsubishi, de IBM a Exxon. Es probable que sus inversiones internas igualen al de empresas que apenas comienzan a operar. El gasto a nivel mundial en investigación y desarrollo en 2001 fue de unos 4 mil millones de dólares. La Sección Cinco (*¿A quién le importa?*) examina el espectro de las compañías, universidades y gobiernos que trabajan en las nuevas tecnologías, en pequeño y en grande.

**POLÍTICAS:** La mayor parte de la investigación actual en tecnología atómica no manipula directamente materia viva —pero sí los elementos químicos cruciales a la vida— y en gran medida ha logrado evadir cualquier escrutinio regulatorio. Incluso la producción y uso de los materiales nanoescalares de hoy podrían conllevar implicaciones para la sociedad, que nos quitarían el aliento, y se desconocen aún los impactos ambientales debido a que los datos y los estudios son todavía insuficientes. En el futuro, la manufactura molecular entraña enormes riesgos ambientales y sociales y no debe proseguir —ni siquiera en el laboratorio— en ausencia de un amplio entendimiento y evaluación por parte de la sociedad. La Sección Seis ofrece algunas recomendaciones en política pública.

**FOROS:** Ninguno. En los foros inter gubernamentales se desconoce o se subestima aún el impacto de la convergencia de tecnologías en la nano escala. Dado que las tecnologías nanométricas se aplicarán en todos los sectores, ninguna agencia quiere dar el primer paso. Los gobiernos y las organizaciones de la sociedad civil (OSC) deberían establecer una Convención Internacional para la Evaluación de Nuevas Tecnologías (CIENT), que incluyan mecanismos para supervisar cualquier desarrollo tecnológico.

## CONTEXTO

### La convergencia de tecnologías

Este informe describe y analiza la convergencia de tecnologías nanoescalares y sus potenciales impactos sociales. Nuestro propósito es traducir la compleja información científica y ayudar a catalizar un amplio debate público. (Los términos nuevos o especializados relacionados con las tecnologías nanoescalares aparecen en **negritas** a lo largo del documento y se definen en el glosario. Ver “Nano gramática” en el Apéndice B).

La industria y los gobiernos prometen que la manipulación de la materia en la escala del **nanómetro** (la millonésima parte de un milímetro) nos traerá maravillosos beneficios. Toda la materia, viva o inerte, se origina en la nano escala. No puede subestimarse los impactos de las tecnologías que controlen este ámbito: el control de la materia a nano escala es el control de los elementos de la naturaleza (los **átomos** y las **moléculas** son los ladrillos de todo). La biotecnología (o manipulación de los genes), la informática (el manejo electrónico de la información), las ciencias cognitivas (la exploración y manipulación de la mente) y la nanotecnología (la manipulación de los elementos) habrán de convergir para transformar la materia viva e inerte. Cuando los OGMS (organismos genéticamente modificados) coincidan con la *materia atómicamente modificada* (MAM), la vida y lo vivo nunca volverán a ser lo mismo.

Hoy, las investigaciones pública y privada a nano escala evolucionan por debajo de la pantalla de radar de la sociedad civil y de los mecanismos reguladores de los gobiernos. Mientras la sociedad se enfrasca en acres —aunque vitales— debates en torno a los peligros y promesas de la modificación genética, empresas industriales impulsan una revolución en la tecnología atómica que podría modificar la materia toda y transformar innumerables aspectos del trabajo y la vida. Es urgente que la sociedad civil y los gobiernos la entiendan y la avizoren o vendrá el momento en que los productos de las tecnologías nanoescalares inundarán los mercados sin procesos de revisión, evaluación y regulación, democráticos y transparentes.

Tradicionalmente, hemos pensado y manufacturado en la macro escala (en metros) Durante los últimos cincuenta años hemos aprendido a pensar y a manufacturar objetos en la micro escala (en micrómetros o en rangos más pequeños). Apenas comenzamos a prestar atención a la nano escala, donde la materia prima de la ciencia y el comercio es el átomo.

El término *tecnología atómica* se refiere a un espectro de nuevas tecnologías que operan en la nano escala o por debajo —es decir, manipulando moléculas, átomos y partículas subatómicas con el fin de crear nuevos productos. Al haber adoptado el término *nanotecnología*, la industria parece decirnos que la manipulación de la materia se detendrá en el nivel de los átomos y moléculas medidos en nanómetros. Sin embargo, sería ingenuo asumir que la nano escala es la última frontera. El término *tecnología atómica* describe mejor aquellas tecnologías que intentan manipular los ladrillos fundamentales de la materia.

Por lo general, el término *nanotecnología* se refiere a la ingeniería mecánica a escala molecular, pero es un término ambiguo y resbaloso. Algunas veces se refiere a la nanotecnología aplicada hoy día, como el uso de **nano partículas** en los recubrimientos cosméticos o industriales. Otras veces se refiere a un objetivo de más largo plazo: la manufactura molecular. (La ingeniería atómica alega que esto no es todavía posible.) Es importante recordar que mientras algunas aplicaciones de la tecnología atómica son una realidad en el mercado, otras están en las primeras etapas de su desarrollo, mientras otras son consideradas como las aberrantes visiones de “futuristas marginales”. Basados en la historia reciente, queda claro para el Grupo ETC que sería “mala ciencia”



echar a la basura investigaciones tecnológicas tan bien financiadas y que involucran a tantos y diversos actores industriales.

La tecnología atómica es transdisciplinaria. Abreva de la física, de la ingeniería, de la biología molecular y de la química. Su poder real se halla en su habilidad para tocar cada uno de los sectores de la economía mundial y en su potencial para redefinir la vida misma. Por ejemplo, la ingeniería genética, como la conocemos hoy, cambiará fundamentalmente y se verá potenciada por la tecnología atómica. Pero la tecnología atómica eclipsará a la ingeniería genética porque involucra *toda* la materia —tanto viva como inerte.

Es fundamental el tema de la propiedad y control de esta tecnología tan totalmente penetrante. ¿Quién controlará los productos y procesos de la tecnología atómica? Como las revoluciones industriales que la precedieron, ¿presenciamos una caída en el bienestar de la gente pobre y una creciente disparidad entre ricos y pobres? La manipulación a nano escala en todas sus formas ofrece un potencial sin precedentes para ejercer un control monopólico arrasador de los elementos y procesos fundamentales de la función biológica y los recursos materiales.

La excitación que rodea las tecnologías nanoescalares recuerda mucho las primeras promesas de la biotecnología. Esta vez se nos dice que lo **nano** erradicará la pobreza al proporcionar bienes materiales (¡libres de contaminación!) a toda la gente del mundo, curará las enfermedades, revertirá el calentamiento global, extenderá los lapsos de vida y resolverá la crisis de energía. Las aplicaciones presentes y futuras de la tecnología atómica son potencialmente benéficas y socialmente atractivas. Pero incluso los más entusiastas promotores de la tecnología atómica advierten que las pequeñas maravillas pueden significar calamidades colosales.

Los aspectos desconocidos de la tecnología atómica —que van de los riesgos ambientales y a la salud por contaminación con nano partículas, a la **plaga gris** o a los *cyborgs*, o a la ampliación de las armas de destrucción masiva— implican riesgos incalculables. Aunque es enorme su potencial para desarrollar productos ambientalmente amigables y productos y procesos baratos, no sabemos lo suficiente de sus implicaciones ambientales, socio económicas o de salud —presentes y futuras.

En el punto de mira del Grupo ETC han estado siempre las sociedades rurales —especialmente en los países del Sur. La convergencia de tecnologías en la nano escala puede parecer muy alejada de las comunidades rurales de África, Asia o América Latina. No lo está. Hace más de veinte años, advertimos que la biotecnología afectaría muy pronto la salud y la agricultura en los países del Sur. Las nuevas tecnologías en los países del Norte afectan también los mercados, las importaciones y las exportaciones, los requisitos laborales y las estrategias de producción. Si las tecnologías no tienen el éxito esperado, se les tira como “basura“ en el Tercer Mundo. Si logran éxito comercial, pueden inundar los países del Sur y/o transformar radicalmente las economías locales. Con la biotecnología, por ejemplo, el descubrimiento de que las variedades del maíz tradicional campesino en México está contaminado con ADN genéticamente modificado, ilustra los potenciales impactos de salud, ambientales y de comercio. La controversia en torno al envío de granos genéticamente modificados, producidos por Estados Unidos, a manera de ayuda humanitaria para los países del Sur, es otro ejemplo. Aunque los inmediatos intereses del mercado en torno a las tecnologías nanoescalares se centran fuertemente en la informática y el desarrollo de materiales, se lleva a cabo mucho trabajo en nano biotecnología. De la misma manera en que la biotecnología vino a dominar las llamadas “ciencias de la vida” en los últimos veinte años, el Grupo ETC considera que dicha convergencia en la nano escala se convertirá en la estrategia operativa del control corporativo en los alimentos, la agricultura y la salud comerciales del siglo XXI.

## Taxonomía de las tecnologías convergentes

**Biotecnología** Al abarcar una variedad de técnicas que implican el uso y la manipulación de organismos vivos, la biotecnología se ha vuelto sinónimo de la ingeniería genética (tecnología de ADN recombinante), el proceso por el cual los genes son alterados y transferidos artificialmente de un organismo a otro. La biotecnología se centra en el núcleo de la célula.

**Nanotecnología** Se refiere a la manipulación de materia viva e inerte al nivel del nanómetro (nm), la millonésima parte de un milímetro. Es en esta escala en que la física cuántica desplaza a la física clásica y las propiedades de los elementos cambian su carácter en formas nuevas e impredecibles.

**Ciencia cognitiva** Se centra en cómo los humanos y otros animales (y máquinas) adquieren, representan y manipulan el conocimiento. Un mayor entendimiento de la cognición permite el desarrollo de inteligencia artificial con que las máquinas emulan procesos mentales. La disciplina también incluye las neuro ciencias cognitivas, lo que permite la exploración y manipulación de la mente, en especial en lo que se refiere al “mejoramiento” del desempeño humano.

**Informática** Las tecnologías de la información, incluida la computación y las comunicaciones, permiten a los científicos capturar, organizar y analizar datos.

**Robótica** Una tecnología que se centra en construir máquinas dirigidas por computadora capaces de desempeñar una variedad de tareas.

**Tecnologías atómicas** Toda la materia (viva o inerte) está compuesta de materiales nanométricos, incluidos los átomos y las moléculas. El término tecnologías atómicas se refiere a un espectro de técnicas que implican manipular las moléculas, los átomos y las partículas subatómicas para producir materiales. La tecnología atómica también implica la fusión y manipulación de materia viva o inerte para crear elementos y organismos nuevos y/o híbridos. El poder de la tecnología atómica se cumplirá plenamente con la integración de tecnologías que operan en la nano escala, incluidas la biotecnología, la informática, la robótica y la ciencia cognitiva.

Hay muchas maneras de describir la manera en que convergirán estas tecnologías. El gobierno estadounidense favorece la NBIC, es decir, nanotecnología, biotecnología, informática y ciencia cognitiva. Bill Joy, el investigador en jefe de Sun Microsystems, ha escrito provocadoramente de las implicaciones de GNR –genética, nanotecnología y robótica. Otros apuntan a la combinación GRIAN (GRAIN por sus siglas en inglés): genética, robótica, inteligencia artificial y nanotecnología. Sean cuales sean las siglas, el punto crítico de las tecnologías convergentes es que todas se juntan en la inmensidad de lo mínimo.

## CLAVES HISTÓRICAS I

## La tecnología: ¿mejoras que empobrecen?

Él hizo un ademán de disgusto con la mano. Es cierto, es cierto. Porque aunque se diga que una marea creciente impulsa todas las barcas, un skiff con goteras puede irse al fondo haya la marea que haya.

GARY KRIST  
*Extravagance. Una novela*

En *Extravagance*, contraste novelado de la bolsa de valores de Londres en 1690 y el Wall Street de los noventa, el autor Gary Krist muestra que las dos épocas tenían el impulso de las rápidas transformaciones tecnológicas catapultadas por la codicia y la complicidad entre el gobierno y los capitanes de la industria. Mientras los ricos vivían con increíble extravagancia, los pobres de Londres e incluso la clase media neoyorquina quedaron más y más marginados.<sup>3</sup> Aunque hayan transcurrido trescientos años, se ignoran aún las lecciones de la historia. Las mareas crecientes siguen hundiendo muchas barcas.

## ¿UN RENACIMIENTO INDUSTRIAL?

Los historiadores suelen situar el Renacimiento europeo entre 1450 y 1625 (o en una época que comprende las vidas de Leonardo da Vinci y Galileo). Algunos historiadores, como John Gribbin, son más precisos. Un periodo de ciencia y descubrimiento comenzó, afirma Gribbin, cuando Gutenberg empezó la impresión de la Biblia. Copérnico forzó a Europa a voltear hacia lo inmenso al publicar su tratado sobre *La revolución de las esferas celestes* y Vesalio urgió a Europa a mirar hacia lo pequeño con la publicación de su revolucionario volumen *El tejido del cuerpo humano*.<sup>4</sup> A un ritmo apenas alcanzado por la actual red electrónica de comunicaciones (o *internet*), las prensas de impresión se esparcieron por Europa en el lapso de 25 años, de Palermo a Oxford, transportando nuevos pensamientos e ideas a todas las rendijas y rincones del continente. Copérnico cambió nuestro sentido de nosotros en el universo pero también presionó a los académicos a investigar la naturaleza de la materia misma. Vesalio inauguró la biología como ciencia —info, nano, bio!

Es común ignorar que el Renacimiento fue de hecho una revolución industrial. Al revisar la explosión de riqueza que existiera en ese periodo, el historiador Carlo Cipolla insiste en que “La razón principal para incrementar la productividad [durante el Renacimiento] era el progreso tecnológico...”<sup>5</sup> La productividad de los tejedores

italianos se duplicó y luego triplicó —aun sin la maquinaria textil que fuera la marca de la Revolución Industrial en Gran Bretaña siglos después. Los primeros impresores de Gutenberg conseguían hacer unas trescientas páginas al día. Para finales del Renacimiento, un impresor podía producir cuatro veces esa cantidad. Entre 1350 y 1550 la producción de hierro inglés se elevó siete y hasta ocho veces. Muchos de los avances del Renacimiento surgieron de las áreas del comercio y el embarque. Antes de Colón, la proporción tripulación-carga era de un marinero por cada cinco o seis toneladas. Los holandeses consiguieron una proporción de un hombre por cada diez toneladas para finales del Renacimiento.<sup>6</sup> Quinientos cincuenta años después: info, nano y bio.

Según el historiador Kevin Phillips, “El Renacimiento y el surgimiento del capitalismo, entre digamos 1450 y 1625, resumó innovaciones tecnológicas y comerciales”.<sup>7</sup> Venecia se convirtió en el grifo del comercio europeo. Esta ciudad-Estado del norte de Italia refinó a tal punto la tecnología de armado de barcos —siendo pionera de las líneas de ensamblaje y las partes intercambiables— que consiguió construir embarcaciones oceánicas en un solo día. La tecnología acicateó la primera era moderna de globalización. Entre 1450 y 1625 el comercio en Europa creció en 600-800 por ciento. Desde los días de gloria del Imperio Romano no se había amasado tal cantidad de riqueza, tan rápido.

Pero como apunta Phillips, mientras los ricos vivían en la extravagancia resultante de las nuevas tecnologías, para la clase trabajadora el costo de la vida aumentó desesperadamente.<sup>8</sup>

“Los campesinos y los aparceros quedaban desconcertados con los incrementos en las rentas que agotaban lo que recibían por su cosecha. Las dietas en todas partes contenían menos carne y grano y los campesinos hablaban con envidia de sus abuelos, que comían con elegancia trabajando esa misma parcela”.<sup>9</sup>

Las inequidades entre ricos y pobres (especialmente en cuanto a comida y alojamiento) se acrecentaron más de lo que aumentarían en mil años.

## EL CONVITE (TECNOLÓGICO) HOLANDÉS

La tecnología, el comercio y el capitalismo se reunieron en los Países Bajos (los británicos, con envidia, le llamaban la “finanza holandesa”<sup>10</sup>) para darle a Europa su segunda revolución industrial. Al igual que los italianos antes de ellos, los inventores holandeses pensaron en las alturas (o en la vastedad) y en lo diminuto —e inventaron el telescopio y el microscopio para su uso comercial. Las

## Advertencia

En 2002, los nuevos hallazgos en la ciencia nanológica se anunciaban mes a mes y los científicos lo grababan cosas imposibles tan sólo un año antes. Dado el ritmo arrebatador de estos nuevos desarrollos en la ciencia nanológica, algunas informaciones contenidas en este documento pueden resultar caducas incluso antes de ser publicadas. En la Sección Seis se anotan fuentes donde los lectores pueden hallar información actualizada adicional acerca de la tecnología atómica.

## Evaluación ETC

El punto no es si las tecnologías son malas (aunque hay ciertas tecnologías que son inherentemente destructivas, centralizadoras o anquilosantes). Más bien la evaluación de nuevas y poderosas tecnologías requiere una amplia preparación y discusión sociales. La sociedad debe estar informada y se debe posibilitar su participación en la toma de decisiones en torno a las tecnologías emergentes.

tecnologías holandesas, que incluían la construcción de barcos, la pesquería y los textiles, entre otras, dominaron el siglo xvii.<sup>11</sup> Para 1669, los Países Bajos contaban con 6 mil barcos, una flota comercial equiparable a la del resto de Europa junta.

### EMPOBRECIMIENTOS IMPERIALES

A principios del siglo xviii, sin embargo, la antorcha de la tecnología pasó a un nuevo gigante industrial. El Reino Unido dominaría el mundo por lo menos desde mitad del siglo y hasta bien entrado el siglo xix. Entre 1808 y 1830, el comercio global aumentó en treinta por ciento. Entre 1840 y 1870 el mercadeo global se quintuplicó, y Gran Bretaña controlaba por lo menos la mitad del comercio de manufacturados.<sup>12</sup> La particularidad es que la Revolución Industrial británica unió poder con portabilidad. La potencia del vapor (mediante motores a vapor en las fábricas y las locomotoras) hizo posible que la manufactura se llevara a cabo en donde fuera más conveniente. Los industrialistas pudieron construir sus enclaves en las inmediaciones de los mercados laborales o viento arriba de High Street.<sup>13</sup>

Una vez más, la enorme riqueza generada por la Revolución Industrial británica estuvo lejos de ser universal. Entre 1760 y 1845 la tendencia general en los salarios de la clase trabajadora fue descendente. Incluso *The Economist* concede que en el siglo xix “el impacto enriquecedor inicial de la revolución industrial dio paso a las miserias dickensonianas de la vida urbana”.<sup>14</sup>

### REVOLUCIONES REPUBLICANAS

Para finales del siglo xix, el poder industrial cruzó el Atlántico y se situó en Estados Unidos. El advenimiento del ferrocarril y el telégrafo hacia mediados del siglo aceleró cambios enormes en la industria estadounidense. Con la llegada del automóvil—seguido del aeroplano, la radio y una serie de innovaciones tecnológicas relacionadas— fue definitiva la dominación industrial estadounidense. Las extravagancias de los “alegres noventas” y después los “fabulosos veintes” fueron legendarias. Se recuerda menos que entre 1920 y 1927 unos 650 mil obreros se anotaron en las listas del desempleo. En los años anteriores a la estrepitosa caída de la bolsa ocurrida en 1929, tantas como 200 mil personas al año eran corridas de sus trabajos por efecto de las nuevas tecnologías.<sup>15</sup>

Otra revolución industrial—una impulsada por la informática y la biotecnología— se abrió paso en las últimas décadas del siglo xx. Entre 1980 y 2000, la parte del capital bursátil total representado por las acciones derivadas de la alta tecnología en Estados Unidos subió del 5 al 30 por ciento (antes del colapso). Pero aunque las corporaciones estadounidenses se ufanan de tener es-

píritu emprendedor e innovación, el desarrollo de semi conductores, computadoras, robótica, tecnologías espaciales y redes electrónicas de comunicación han estado siempre instigadas, fuertemente subsidiadas y protegidas por el gobierno. Esto no sólo trajo teléfonos celulares y cultivos genéticamente modificados. Trajo también inequidad, desempleo y empobrecimientos crecientes en Estados Unidos y en el resto del mundo.

### LA MAREA CRECIENTE DE LA TECNOLOGÍA

Durante por lo menos 550 años, las transformaciones tecnológicas han modelado los asuntos mundiales. No se puede exagerar sobre la importancia de la ciencia y la tecnología en el último siglo, y en los años por venir. Los economistas consideran que el avance tecnológico es la marea creciente que permitirá que los beneficios y la abundancia “se derramen” de aquellos que se beneficiaron primero, al resto de la gente, algún día. La historia sugiere otra cosa. De la Europa renacentista a los Estados Unidos de la revolución informática y las telecomunicaciones, la humanidad ha marchado a través de una sucesión de revoluciones industriales que—desde su primera generación— ha profundizado la falta de poder y posibilidades de los grupos marginales.

Sea que hablemos de la transformación tecnológica de Italia en los siglos xv y xvi o de Inglaterra en el siglo xviii, o de Estados Unidos en el siglo xx, todas estas revoluciones distorsionaron profundamente la política y la equidad social. En cada caso los innovadores estuvieron subsidiados por la clase dominante y/o el gobierno de entonces. Cada una de las transformaciones industriales crearon una riqueza extravagante (para la familia Medici o para los Gates) y una enorme pobreza. Los campesinos que quedaron “fuera del circuito” en la Italia renacentista fueron derrotados por la revolución de los precios que acompañó las nuevas tecnologías. De la misma manera, los mineros y obreros textiles de Gran Bretaña quedaron atrapados por el apretón en los precios que expandió las filas de los hambrientos. La nutrición se vio tan expuesta que, durante la revolución industrial, la altura promedio de los jóvenes reclutas militares en el Reino Unido, Suecia, Hungría y Estados Unidos (países que cuentan con registros) descendió sustancialmente y no retornó a sus niveles “pre revolucionarios” por más de un siglo.<sup>16</sup> Así como los italianos subsidiaron a Leonardo da Vinci, los holandeses y los británicos subsidiaron también a los inventores e industrialistas. Los estadounidenses hicieron de esta complicidad una forma del arte. En cada uno de estos casos, las tecnologías se han montado en los hombros del gobierno para obtener la aceptación de los consumidores y el monopolio del mercado. En todos los casos, por lo menos en un inicio, han sufrido los pobres y los marginados.

## Notas

<sup>1</sup> CMP Científica, “Nanotechnology Opportunity Report”, marzo de 2002. Este informe se centra sólo en la nueva tecnología que implica materiales menores a 100 nm; según el documento las ventas anuales derivadas de la nanotecnología ascienden a 30 millones de dólares, aunque Scott Mize, quien originara el informe, declaró que la estimación excluía la venta de instrumentos y que, como tal, podría haberse quedado corta en unos 70 millones de dólares (*Foresight Basic Tutorial*, 10 de octubre de 2002). Debido a los costos prohibitivos del legajo (1995 dólares) las referencias de ETC provienen de un resumen de dicho documento: Eric Pfeiffer, “Nanotech Reality Check: New Report Tries to Cut Hype, Keep Numbers Real”, *Small Times*, 11 de marzo de 2002, que se encuentra disponible por la red electrónica: [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com). NanoBusiness Alliance, un grupo de comercio estadounidense recién instaurado, calcula que las ventas anuales globales de la nanotecnología son del orden de los 45 500 millones de dólares. La enorme discrepancia se debe a que este grupo incluyó algunos productos que no son realmente de nano escala —una definición estricta pero ampliamente aceptada limita su tamaño a que todo lo manipulado no exceda los 100 nanómetros. Las cifras de NanoBusiness Alliance incluyen los sistemas micro electro mecánicos o SMEM (MEMS por sus siglas en inglés), que están en la escala de los micrómetros. La cifra de CMP Científica excluye algunos productos que sí están en la

nano escala pero no son tecnologías nuevas (por ejemplo el negro de carbón, las partículas de carbono nanoescalares —químicamente lo mismo que el hollín— se han usado en la manufactura de llantas durante casi un siglo).

<sup>2</sup> M Roco y ws Bainbridge, editores, “Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology”, National Science Foundation, marzo de 2001, pp. 3-4.

<sup>3</sup> Gary Krist, *Extravagance, A Novel*. Broadway Books, 2002, p. 21.

<sup>4</sup> Ver John Gribbin, *Science: A History 1543-2001*. Penguin/Allen, 2002, revisado en “A History of Science-Time’s Arrow”, *The Economist*, 28 de septiembre de 2002.

<sup>5</sup> Carlo M Cipolla, *Before the Industrial Revolution-European Society and Economy 1000-1700*(tercera edición) WW Norton & Company, 1994, p. 105.

<sup>6</sup> *Ibid.*, pp. 105-107.

<sup>7</sup> Kevin Phillips, *Wealth and Democracy*, Broadway Books, 2002, p. 258.

<sup>8</sup> *Ibid.*, p. 258.

<sup>9</sup> *Ibid.*, p. 259

<sup>10</sup> Krist, *Extravagance*, p. 11.

<sup>11</sup> Phillips, *Wealth and Democracy*, pp. 175-176.

<sup>12</sup> *Ibid.*, pp. 175-177.

<sup>13</sup> *Ibid.*, p. 260.

<sup>14</sup> Anónimo, “Bigger is Better”, *The Economist*, 26 de febrero de 1998.

<sup>15</sup> Phillips, *Wealth and Democracy*, p. 262.

<sup>16</sup> Anónimo, “Bigger is Better”, *The Economist*, *op. cit.*

S E C C I Ó N U N O

---

1

El papel  
de lo infinitamente  
pequeño  
es infinitamente  
vasto

Louis Pasteur

## ¿Qué es la tecnología atómica?

**DE GOLIAT A DAVID:** Antes de que un terremoto en 227 AC la destruyera, el Coloso de Rodas, una estatua de bronce con la efigie del dios Helios, se hallaba a la entrada del puerto y se elevaba 32 metros por encima de las olas. Se le consideraba una de las siete maravillas del mundo construidas por la humanidad. En tiempos recientes, nuestra apreciación de lo maravilloso se ha encogido —de lo muy, muy grande a lo muy, muy pequeño— de la idea de *colossus* (que en griego significa enorme) a la idea de *nanos* (lo diminuto, lo enano).

**UN SENTIDO DEL TAMAÑO:** *La tecnología atómica* se refiere a un espectro de nuevas tecnologías que pretenden manipular los átomos, las moléculas y las partículas subatómicas para crear nuevos productos. La industria prefiere el término nanotecnología.<sup>1</sup>

“Nano” es una medida, no un objeto. Mientras la palabra biotecnología da alguna idea del material que se manipula mediante el ingenio humano —*bio* (es decir vida)— la nanotecnología revela únicamente el tamaño del material que se manipula (un nanómetro es la millonésima parte del milímetro). Cualquier cosa a escala nanométrica es invisible al ojo desnudo y a todo instrumento, salvo los más especializados. Es crucial entonces hacernos una idea de la nano escala (y hasta 100 nanómetros) para entender su importancia.



El relato bíblico de David y Goliat, donde el pequeño David derrotó al impresionante Goliat con una honda, nos muestra que lo pequeño puede ser tan poderoso como lo grande. Hoy, el impresionante Goliat (las corporaciones industriales) ha aprendido la lección y explota el poder de lo pequeño para hacerse más enorme, mientras el pequeño David (la sociedad) no puede ver siquiera a su oponente.

“¡Los tenemos rodeados!, ¡ah!, y por cierto, la roca es nuestra.”



### Receta para una persona pequeña

ELEMENTO	FRACCIÓN DE LA MASA CORPORAL TOTAL
Oxígeno	61%
Carbono	23%
Hidrógeno	10%
Nitrógeno	2.6%
Calcio	1.4%
Fósforo	1.1%
Sulfuro	0.2%
Potasio	0.2%
Sodio	0.14%
Cloro	0.12%
Magnesio	0.027%
Silicio	260 ppm*
Hierro	60 ppm
Flúor	37 ppm
Zinc	33 ppm
Cobre	1 ppm
Manganeso	0.2 ppm
Estaño	0.2 ppm
Iodo	0.2 ppm
Selenio	0.2 ppm
Níquel	0.2 ppm
Molibdeno	0.1 ppm
Vanadio	0.1 ppm
Cromo	0.03 ppm
Cobalto	0.02 ppm

\* partes por millón

#### Para ayudar a conferirle sentido al tamaño:

- Diez átomos de hidrógeno alineados uno junto a otro caben apenas en un nanómetro.
- Si creciéramos un átomo de hidrógeno al tamaño de este punto (“.”) y ampliáramos la letra (“a”) junto a él en igual proporción, la “a” mediría 80 kilómetros de altura.
- Una molécula de ADN mide unos 2.5 nm de ancho (es 25 veces más grande que un átomo de hidrógeno). El ADN —sustancia transportadora de información que los ingenieros genéticos mezclan y combinan— es un ensamblaje de átomos de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y carbono.
- Un glóbulo rojo de la sangre mide unos 5 mil nm de diámetro, es decir, la veinteva parte del grosor de un cabello humano.
- Los componentes individuales de los transistores de silicio usados en micro electrónica se despliegan 130 nanómetros transversales, lo que significa que Intel puede acomodar 42 millones de ellos en su chip para la Pentium 4.<sup>2</sup>
- La longitud de un nanómetro es de  $10^{-9}$  metros.  $10^{-12}$  nos sitúa en el ámbito del núcleo de un átomo; en cambio,  $10^{12}$  está en la escala de todo el sistema solar.

Los filósofos medievales tan sólo podían ponderar este ámbito, y se preguntaban cuántos ángeles podían bailar en la cabeza de un alfiler. Sin querer interferir con algún cálculo escatológico, los científicos saben que en la cabeza de un alfiler se apretarían 900 millones de nano partículas.<sup>3</sup>



**TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS**

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	113 Uut	114 uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

**ALQUIMIA ATÓMICA:** Al nivel de los átomos y las moléculas, la materia prima de la tecnología atómica son los elementos químicos de la **Tabla Periódica**, que conforman todo lo demás, incluidos los ladrillos genéticos de construcción de la vida. La Tabla Periódica es una lista de todos los elementos químicos conocidos, unos 115 hasta la fecha.<sup>4</sup> Los símbolos de cada uno de los elementos químicos (comúnmente las primeras letras de su nombre) se acomodan en columnas y líneas, agrupados de acuerdo a sus propiedades químicas.

Toda la materia, viva e inerte, se forma a base de elementos químicos. Dado que en el universo conocido todo está construido a partir de apenas unos cien ladrillos de construcción diferentes, la variedad infinita de lo que nos rodea es el resultado de “recetas” químicas únicas que utilizan un número limitado de “ingredientes” posibles. Para funcionar apropiadamente, el cuerpo humano requiere 25 elementos, pero nuestros cuerpos contienen rastros de todos los elementos que existen en la tierra.<sup>5</sup>

El hidrógeno, por ejemplo, da cuenta del 88 por ciento de los átomos en el universo —se le encuentra en el sol, en el agua, en la corteza terrestre y en el cuerpo humano. El carbono es un componente de toda la materia viva o que alguna vez vivió. Dependiendo de la variación en las condiciones atmosféricas y la temperatura, el carbono puede asumir naturalmente la forma de grafito, diamante o carbón. Muchos de nosotros consumimos unos 300 gramos de carbono todos los días en la forma de carbohidratos, grasas y fibra.

Los tecnólogos atómicos buscan controlar la Tabla Periódica del mismo modo que un pintor maneja una paleta de pigmentos. El propósito es crear nuevos materiales y modificar los existentes.

**LEYES QUE DETERMINAN EL CARÁCTER:** El tamaño puede alterarlo todo. A escala nanométrica, los elementos pueden comportarse muy diferente de cómo lo hacen en una escala mayor. Saltar de las micro tecnologías —tales como la micro electrónica y los micro procesadores— a la nano escala, es una revolución en sí misma. Un micrómetro [o micra] es mil veces más grande que un nanómetro. Pero la diferencia es más vasta que el tamaño. Por debajo de los 50 nm entra en operación algo que los científicos llaman “el efecto cuántico del tamaño”: la **mecánica cuántica** entra a sustituir a la mecánica

#### **De Mendel a Mendeleev**

El monje austriaco, Félix Mendel, publicó en 1865 su tratado en torno a la herencia genética. Cuatro años después, Dimitri Mendeleev, un químico ruso, publicó un texto que incluía la primera Tabla Periódica de los Elementos.

Mendel describió la regeneración de la vida; Mendeleev mapeó los elementos de la vida. Estos dos pioneros de lo “bio” y lo “nano” nunca se conocieron —¡pero sus tecnologías se combinaron!

clásica (ésta gobierna las propiedades físicas que observamos en los mundos macro y micro). Con sólo reducir el tamaño sin alterar de forma alguna la sustancia, pueden cambiar las características fundamentales de manufactura, tales como la conductividad eléctrica, el color, la fuerza, el punto de fusión —propiedades que comúnmente consideramos constantes para determinado material.

- Una sustancia roja cuando tiene un metro de ancho, puede ser verde cuando mide unos pocos nanómetros (el oro de una argolla matrimonial se ve amarilla, por ejemplo; el oro nanométrico es rojo).
- Algo que es blando y maleable en la macro escala puede ser más fuerte que el acero a nivel nanométrico.
- Un solo gramo de material de catálisis (usado para acelerar las reacciones químicas), conformado por partículas de diez nanómetros de diámetro, es 100 veces más reactiva que la misma cantidad del mismo material formado por partículas que midan una micra de diámetro.<sup>6</sup>
- En la nano escala, una forma del carbono puro puede ser a la vez un conductor y un semi conductor de electricidad, mientras que a escala mayor esta forma del carbono puro (digamos un diamante) no es ni lo uno ni lo otro.

Los cambios en color, fuerza, conductividad y reactividad que se observan a nivel nanométrico son atribuidos a la reducción en el tamaño de las partículas. Al diseñar la estructura de los materiales en la nano escala, es posible hacer ingeniería de nuevos materiales con propiedades del todo nuevas, nunca antes identificadas en la naturaleza.

**HERRAMIENTAS PARA UNA TECNOLOGÍA DE LO DIMINUTO:** Antes de que alguien haga o manipule algo que asuma las ventajas derivadas de la mecánica cuántica, tiene que contar con las herramientas que permitan ver lo que ocurre en el nivel nanométrico. En

1959, el físico Richard Feynman impartió una conferencia a la Sociedad Estadunidesa de Física, en el California Institute of Technology, intitulada “Hay mucho lugar en el fondo”. En esa ocasión, este Premio Nobel (1965) presentó el trasfondo teórico para una ciencia nanoescalar (su público ni se inmutó). Feynman explicó que la barrera más grande para manipular el mundo en la nano escala era que no lo podíamos ver: el mejor microscópico electrónico para los parámetros de 1959 era aún cien veces más burdo de lo necesario. Feynman concluyó que “los problemas de la química y la biología podrían recibir una ayuda tremenda si tuviéramos la posibilidad de ver lo que hacemos, y de ejecutar acciones en el nivel atómico —algo que se está desarrollando, y que en última instancia no puede soslayarse”.<sup>8</sup> Y planteó entonces un desafío: “¿No hay manera de hacer un microscopio electrónico más potente?”

### CAMBIOS CUÁNTICOS EN EL CARÁCTER DE LA MATERIA Charla, gis en mano, y perlas de sabiduría

#### La nano escala implica sorprendentes cambios en las propiedades de materiales comunes

El abulón, molusco que es la fuente de la “madreperla”, por ejemplo, construye una concha increíblemente durable al organizar el carbonato de calcio (la misma sustancia de la que se hace el gis —o tiza— usado en los salones de clase) formando ladrillos nano estructurados. A manera de argamasa, el abulón crea una elástica mucosidad de proteína y carbohidrato. Si se forma una rajadura en el exterior de la concha, hay poca oportunidad de que se extienda a través del grosor de ésta debido a que la estructura fuerza la grieta a desviarse en torno a los diminutos ladrillos, lo que dispersa la energía de rotura. En auxilio de este control de daños, esta argamasa elástica forma nano cuerdas flexibles que “tejen” los ladrillos de nuevo a su sitio. El efecto cuántico, disparado por el tamaño, cambia las características de los materiales sin alterar su composición química. El carbonato de calcio que se desmorona contra el pizarrón en un salón de clase, forma, a nano escala, la impenetrable concha del abulón.<sup>7</sup>

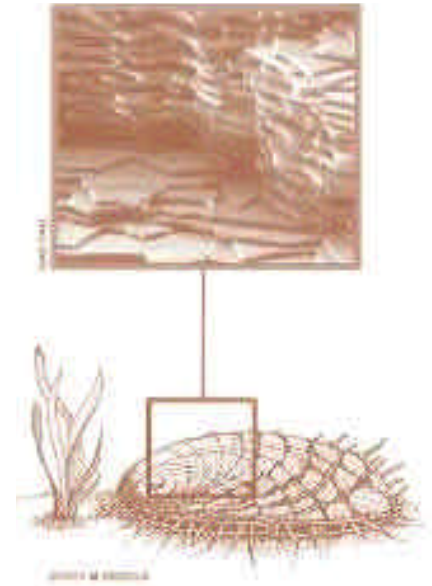
Tomó más de veinte años poder cumplir con el reto, pero el 10 de agosto de 1982, se le concedió a la empresa IBM la patente estadounidense 4 343 993 por la invención del *microscopio de barrido en túnel* (MBT o STM por sus siglas en inglés), lo que arrojó nueva luz sobre el mundo atómico.

Es común suponer que los microscopios usan lentes para ampliar un objeto y hacerlo lo suficientemente grande como para verlo con el ojo desnudo, pero un MBT nos permi-

te “ver” en forma indirecta, no por amplificación. Una punta en forma de aguja fina que sea eléctricamente conductora, ejecuta un barrido por encima de la superficie de una muestra eléctricamente conductora. La distancia entre la punta y la muestra es de algunos pocos Angstroms (un nanómetro es 10 veces más grande que un Angstrom) y se controla la distancia de modo que permanezca constante. Cuando se le aplica un ligero voltaje, las reglas de la mecánica cuántica hacen que los electrones salten y fluyan “como en un túnel” atravesando el espacio entre la punta y la muestra.<sup>9</sup> Pese a ser muy pequeño, este flujo de electrones puede detectarse fácilmente. Conforme la punta se mueve por la superficie de la muestra, se hacen constantes ajustes a la posición de la punta para asegurar que la distancia (y como tal la corriente eléctrica) se mantenga constante. Estos ajustes rastrean los rasgos superficiales de la muestra. Cuando los rasgos se despliegan gráficamente en la pantalla de un ordenador, somos capaces de “ver”, por separado, los átomos y las moléculas que conforman la muestra. Dado que esta técnica se basa en el flujo eléctrico entre la punta y la muestra, el MBT sólo puede usarse para examinar materiales que conduzcan, por lo menos, una pequeña corriente eléctrica. Por inventar el *microscopio de barrido en túnel*, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer ganaron el Premio Nobel de Física en 1986.

Un microscopio de barrido en túnel no sólo nos ofrece un asiento de primera fila en la arena atómica, puede situarnos también en el campo de juego. Si se incrementa el voltaje mientras la punta se sitúa exactamente encima de un átomo, se puede lograr que el átomo se adhiera a la punta; entonces es posible reposicionar el átomo al bajar el voltaje, soltándolo de la punta en una nueva posición.<sup>10</sup> En 1989, los investigadores de IBM en el centro de investigaciones de Almaden en San José, California, Estados Unidos, recogieron 35 átomos de xenón (el xenón es un elemento gaseoso químicamente inerte) con la punta de un MBT, uno a la vez, y los dispusieron en la superficie de un cristal de níquel. No sorprende que los científicos decidieran dibujar las letras I-B-M con sus átomos de xenón —asociando para siempre el Azul Inmenso con lo diminuto. El histórico nano logotipo medía menos de tres nanómetros.<sup>11</sup> Recoger y relocalizar átomos no es ni fácil ni barato y puede no ser la manera más rentable de desarrollar productos atómicamente, pero es una demostración de nuestra creciente habilidad para manipular materia a nivel nanométrico.

Desde principios de los ochenta, los STM (o MBT) evolucionaron a lo que se conoce como *microscopios de fuerza atómica* (MFA, o AFM por sus siglas en inglés), que son capaces de “ver” un rango mucho más amplio de muestras nanoescalares. El proceso sigue cercanamente al desarrollado por Binnig y Rohrer: una punta en forma de aguja fina que barre la superficie de tal suerte que su topografía puede “leerse” y más tarde traducirse a imágenes gráficas.<sup>12</sup> Usando MFA en vez de MBT, sin embargo, es posible ver muestras no tan altamente conductoras, tales como las muestras biológicas. En lugar de mantener constante la distancia entre la punta eléctricamente conductora y la muestra, la punta de un *microscopio de fuerza atómica* se coloca en el extremo de un brazo de palanca suspendido, muy sensible, que de hecho roza la superficie de la muestra. La fuerza de contacto es muy pequeña. Al igual que en los microscopios de barrido en túnel, la punta barre la superficie de la muestra para generar una imagen, pero el MFA registra y mide los leves movimientos ascendentes y descendentes del brazo, necesarios para mantener una fuerza constante sobre la muestra. La punta “siente” la superficie en la forma en que un dedo acaricia una mejilla. Siendo tan delicado el tacto necesario para no destruir la muestra, se han desarrollado muchos métodos diferentes, incluido uno que golpetea gentilmente la muestra a intervalos inimaginablemente diminutos conforme se mueve por la superficie. Hoy, los MFA son una herramienta indispensable usada por los investigadores para manipular la materia en la nano escala; su costo varía entre 500 mil dólares y 1.5 millones de dólares.<sup>13</sup>



Las capas laminadas de una concha de abulón, vistas a través de un microscopio de barrido electrónico

Aunque Feynman hubiera sido muy feliz con estos desarrollos en la mirada del nivel atómico, a tan sólo veinte años de su discurso en Caltech, seguramente se habría sorprendido del progreso logrado en los veinte años que siguieron (Feynman murió en 1988). Los instrumentos que permiten a los investigadores en nanología ver y manipular átomos, avanza rápidamente. En agosto de 2002, IBM anunció que había desarrollado un nuevo microscopio electrónico con un poder de resolución que alcanza el radio de un solo átomo de hidrógeno. Esta innovación permitirá a los científicos examinar y corregir defectos de nivel atómico en materiales semi conductores —un primer paso crítico para construir chips de computadora más pequeños y veloces.<sup>14</sup>

## Microscopios de Barrido por Sondeo

Microscopio de barrido en túnel  
(MBT o STM)



Microscopio de fuerza atómica  
(MFA o AFM)



**EN EL AVASALLAMIENTO DE LO PEQUEÑO:** Ir hacia lo pequeño no implica máquinas que se encojan con el único fin de tener más espacio en nuestros escritorios, aunque seguro ocurrirá lo anterior cuando se pueda meter más transistores en chips de computadoras más y más minúsculos. No se trata tampoco de la fascinación por un ámbito que se halla fuera de nuestra experiencia humana cotidiana, como lo es la fascinación de los científicos por lo colosal, aunque sin duda hay algo de eso. La atracción real de dominar el ámbito de lo nanométrico es que expandirá nuestro poder para controlar otros ámbitos. El avasallamiento de lo pequeño yace en el hecho de que los ladrillos de construcción de toda la materia fundamental para la ciencia y la industria se originan en la nano escala. La tecnología atómica opera en la misma escala que los procesos bio moleculares, por ejemplo. De ser factible construir máquinas en esta escala podremos usarlas para alterar los sistemas biológicos y hacer que los procesos bio moleculares trabajen como máquinas mecánicas.

El poder de la tecnología atómica nos permitirá controlar y manipular nuevos ámbitos que crucen muchas disciplinas tecnológicas. Entender qué es la nano escala es el primer paso.

Es también importante recordar que los ladrillos de construcción de la materia —los elementos de la Tabla Periódica— no son estáticos. Durante más de sesenta años los científicos en Europa y América del Norte han seguido contribuyendo a la conformación de dicha Tabla Periódica. Así, se han creado por lo menos 17 elementos. (La controversia en torno a algunos de éstos continúa y, recientemente, se dio a conocer evidencia de que la documentación de uno de ellos era fraudulenta.) Aun cuando los científicos construyan nuevos elementos, también están aprendiendo más acerca de las partículas subatómicas y de la insospechada complejidad de la estructura del átomo. El salto “a la inmensidad de lo mínimo” no termina al nivel de los átomos mismos. En los años venideros los científicos crearán nuevos elementos y tal vez reestructuren o combinen elementos en formas que no imaginamos ahora. Es imposible calcular las factibles implicaciones socio económicas y ambientales que acarrearán nuevas formas de la materia —materiales nunca antes vistos sobre la Tierra.

En la siguiente sección, el Grupo ETC presenta cuatro estadios de la tecnología atómica, que incluyen las aplicaciones actuales y futuras, y sus impactos potenciales.

## Nuevos elementos en la Tabla Periódica: creaciones “naturales”

**Nombre, año, número atómico,  
quién y dónde se creó**

### **Tecnecio (Tc)**

1937, 43  
E. Segré y C. Perrier, Universidad de Palermo,  
Sicilia, Italia

### **Francio (Fr)**

1939, 87  
M. Perey, Instituto Curie, París, Francia

### **Neptunio (Np)**

1940, 93  
E. McMillan, P. Abelson, Berkeley, California (EU)

### **Astato (At)**

1940, 85  
D. Corson, K.R. Mackenzie, E. Segré, Berkeley, California (EU)

### **Americio (Am)**

1944, 95  
G. Seaborg *et al.*, Universidad de Chicago (EU)

### **Curio (Cm)**

1944, 96  
G. Seaborg *et al.*, Berkeley, California (EU)

### **Berkelio (Bk)**

1949, 97  
S. Thompson, A. Ghiorso, G. Seaborg, Berkeley,  
California (EU)

### **Californio (Cf)**

1950, 98  
S. Thompson, A. Ghiorso, G. Seaborg, K. Street Jr.,  
Berkeley, California (EU)

### **Einsteinio (Es)**

1952, 99  
A. Ghiorso *et al.*, Berkeley, California (EU);  
descubierto en el análisis del material generado  
por la primera explosión termonuclear en el atolón  
de Eniwetok.

### **Fermio (Fm)**

1952, 100  
A. Ghiorso *et al.*, Berkeley, California (EU);  
descubierto en el análisis del material generado  
por la primera explosión termonuclear en el atolón  
de Eniwetok.

### **Mendelevio (Md)**

1955, 101  
A. Ghiorso *et al.*, Berkeley, California (EU)

### **Nobelio (No)**

1956, 102  
Joint Institute for Nuclear Research  
(JINR, Instituto de Investigación Nuclear Conjunta),  
Dubna, Rusia

### **Lawrencio (Lr)**

1961, 103  
A. Ghiorso *et al.*, Berkeley, California (EU)

### **Rutherfordio (Rf)**

1969, 104  
A. Ghiorso *et al.*, Berkeley, California (EU);  
es probable que el JINR, en Dubna, Rusia, lo haya  
fabricado primero en 1964

### **Dubnio (Db)**

1967, 105  
JINR, Dubna, Rusia

### **Seaborgio (Sg)**

1974, 106  
A. Ghiorso *et al.*, Berkeley, California (EU)

### **Bohrio (Bh)**

1981, 107  
Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI,  
Laboratorio de Investigación de Iones Pesados),  
Darmstadt, Alemania; es probable que el JINR, de  
Dubna, Rusia, lo haya creado primero en 1976

### **Meitnerio (Mt)**

1982, 109  
GSI, Darmstadt, Alemania

### **Hassio (Hs)**

1984, 108  
GSI, Darmstadt, Alemania

### **Ununnilio (Uun)**

1994, 110  
GSI, Darmstadt, Alemania

### **Ununio (Uuu)**

1994, 111  
GSI, Darmstadt, Alemania

### **Ununbio (Uub)**

1996, 112  
GSI, Darmstadt, Alemania

### **Ununquadio (Uuq)**

1999, 114  
JINR, Dubna, Rusia (en colaboración con  
Los Alamos National Laboratory, Nuevo México,  
Estados Unidos)

Fuente: John Emsley. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, 2002. (Primera publicación en 2001.)

La versión que presentamos en castellano está extraída de environmentalchemistry.com, la cual es afín a la versión de John Emsley en inglés. Sin embargo, los nombres de algunos elementos —entre el 105 y el 114— no corresponden con la manera en que los presentas las tablas periódicas publicadas en castellano, en las cuales se cita el elemento 105 como Hafmio (Ha); el 106 como Antidilio (Nt); el 107 como Gerphanio (Gp); el 109 como Wolschaldo (Wl); el 108 como Horkaichi (Hr); el 110 como Madveded (Mv); el 111 como Plutirio (Pl); el 112 como Danwanzio (Da); el 114 como Erristeneo (Eo).

### Pasos hacia lo diminuto: algunos hitos de la tecnología atómica

**1959** El físico Richard Feynman, Premio Nobel, imparte su famoso discurso “Hay mucho lugar en el fondo” donde describe la posibilidad futura de la ingeniería atómica.

**1964** Glenn Seaborg, Premio Nobel de Química, obtiene dos patentes estadounidenses por elementos descubiertos por él —el Americio #95 y el Curio #96—, un hito poco conocido que sienta el peligroso precedente del patentamiento de elementos y de material desarrollado con ingeniería atómica.

**1974** Norio Taniguchi de Tokyo Science University utiliza por primera vez el término “nanotecnología”.

**1981** Gerd. K. Binnig y Heinrich Rohrer del laboratorio de investigación de la IBM en Zurich inventan el *microscopio de barrido en t nel* que permite a los investigadores ver y manipular, por primera vez, átomos. Estos investigadores obtuvieron la patente del microscopio en 1982 y el Premio Nobel de Física en 1986.

Eric Drexler publica el primer artículo técnico sobre nanotecnología molecular en *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

**1985** Robert F. Curl Jr., Harold W. Kroto y Richard E. Smalley descubren los Bukminsterfullerenos (o *buckyballs*) que miden aproximadamente un nanómetro de ancho.

**1989** Los físicos de la IBM manipulan átomos con precisión y escriben las letras I-B-M con 35 átomos de xenón.

**1991** Sumio Iijima, un físico de los laboratorios de investigación de NEC, en Japón, descubre los nano tubos de paredes múltiples de carbono

**1993** Warren Robinett de la Universidad de Carolina del Norte y R. Stanley Williams de la Universidad de California crean un sistema de realidad virtual conectado a un *microscopio de barrido en t nel* que permite a los investigadores “ver” y tocar los átomos.

Rice University establece en Estados Unidos el primer laboratorio dedicado a la nanotecnología.

**1996** Curl, Kroto y Smalley ganan el Premio Nobel en Química por descubrir las *buckyballs*.

**1997** Se establece en Estados Unidos la primer compañía comercial en nanotecnología, con capital de riesgo.

**1998** Los investigadores de la Delft University of Technology, en Holanda, crean un transistor a partir de un nano tubo de carbono.

**2000** Los laboratorios Lucent & Bell, junto con la Universidad de Oxford, crean los primeros motores de ADN y demuestran la convergencia de la biotecnología y la nanotecnología.

**2001** Los investigadores de IBM y Delft University usan nano tubos de carbono para desarrollar, a nivel nanométrico, circuitos lógicos —los componentes que procesan información en las computadoras.

Mitsui & Co. de Japón anuncia planes para fabricar nano tubos de carbono masivamente.

**2002** En junio, los nanotecnólogos de IBM presentaron dispositivos de almacenamiento de datos con una densidad de un billón de bits por pulgada cuadrada, equivalente a 100 gigabytes en un disco duro, suficientes para almacenar 25 millones de páginas impresas de libros de texto en la superficie de un timbre postal.

En agosto, IBM anunció el desarrollo de un nuevo microscopio electrónico con resolución tal, que enfoca a menos de lo que mide el radio de un solo átomo de hidrógeno.

Fuentes: Gary Stix, “A few 10-9 Milestones”, *Scientific American*, septiembre de 2001, p. 36; CMP Científica, *Nanotech: The Tiny Revolution*; Douglas Mulhall, *Our Molecular Future*, Prometheus Books, 2002; Grupo ETC.

## Notas

- <sup>1</sup> Según Douglas Mullhall, en *Our Molecular Future*, 2002, Prometheus Books, p.32, el término nanotecnología lo usó por primera vez, en 1974, Norio Taniguchi, de Tokyo Science University.
- <sup>2</sup> David Rotman, “The Nanotube Computer”, *Technology Review*, marzo 2002, p. 38.
- <sup>3</sup> Según Joseph Cross, presidente y director ejecutivo de Nanophase Technologies. Disponible en la red electrónica [www.nanophase.com/ceo\\_interview\\_02.pdf](http://www.nanophase.com/ceo_interview_02.pdf)
- <sup>4</sup> John Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford University Press, 2001, p. 2.
- <sup>5</sup> *Ibid.*, p. 6.
- <sup>6</sup> Claudia Hume, “The Outer Limits of Miniaturization”. *Chemical Specialties*, septiembre de 2000.
- <sup>7</sup> Este ejemplo tomó información de “Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom”, p. 3. Disponible en la red electrónica: [itri.loyola.edu/nano/WGN.Public.Brochure/](http://itri.loyola.edu/nano/WGN.Public.Brochure/)
- <sup>8</sup> Richard Feynman, “There's Plenty of Room at the Bottom”, 1959; disponible en la red electrónica: [www.zyvex.com/nanotech/feynman.html](http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html)
- <sup>9</sup> Richard P. Terra, “Manipulating Atoms and Molecules With the Scanning Tunneling Microscope and Atomic Force Microscope”, 1998; disponible en la red electrónica: [www.nanazine.com/NANOTOOL.HTM](http://www.nanazine.com/NANOTOOL.HTM); ver también Mitch Jacoby, “New Tools for Tiny Jobs”, *Chemical and Engineering News*, 16 de octubre de 2000, p. 33.
- <sup>10</sup> K. Eric Drexler, *Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution*. Quill William Morrow, 1991, pp. 92-94.
- <sup>11</sup> En la red electrónica puede hallarse una imagen del histórico nano logotipo: [www.almaden.ibm.com/vis/stm/images/ibm.tif](http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/images/ibm.tif)
- <sup>12</sup> Binnig, de IBM, jugó también un importante papel en el desarrollo del AFM, y obtuvo la patente estadounidense 4 724 318 en 1986 (el 16 de octubre de 1990 esta patente se relanzó con el número USRE33387.
- <sup>13</sup> Comunicación personal con Veeco Metrology, Santa Barbara, California, septiembre de 2002.
- <sup>14</sup> John Markoff, “New Electron Microscope is Developed at IBM Lab”, *New York Times*, 8 de agosto de 2002.

# 2

Quien descubre  
un arte  
no es  
el mejor juez  
del bien o el daño  
que infligirá  
a quienes  
lo practiquen

Platón, *Fedro*



## Cuatro [riesgosos] saltos a la inmensidad de lo mínimo

para el ambiente, la economía  
y la vida misma

En esta sección, el Grupo ETC examina las aplicaciones actuales y futuras de la tecnología atómica, en cuatro etapas. Estos pasos no son aceptados ni definidos universalmente —pero representan nuestro mejor esfuerzo por categorizar y explicar el espectro de las tecnologías atómicas presentes y futuras. Los cuatro “saltos a lo mínimo” no son necesariamente secuenciales, no son mutuamente excluyentes, y el advenimiento de cada nuevo paso tampoco anuncia el abandono del peldaño previo. Los *pasos dos, tres y cuatro* contribuyen todos a la convergencia de las tecnologías nanoescalares con la biotecnología, la informática y las neuro ciencias. Las etapas que delineamos a continuación serán discutidas en las páginas siguientes.

**PASO UNO: “lo nano, a granel”** es una aplicación actual de la tecnología atómica. Es la producción a granel de nano partículas (elementos puros y preparados simples) para el mercado de “bienes de consumo atómicos”: aerosoles, polvos y recubrimientos se utilizan en la manufactura de productos tales como pinturas resistentes al craquelado, bolsas de aire para automóviles, filtros solares, telas repelentes a las manchas, ventanas que se limpian solas y paneles solares. Las nano partículas pueden ayudar a producir superficies y sistemas más resistentes, más ligeros, más limpios y más “inteligentes”. El *paso uno* incluye la manufactura de moléculas de carbono puro conocidas como nano tubos y *buckyballs* (ver a continuación).

**PASO DOS: nano fabricación** El objetivo es manipular y ensamblar partículas nanoescalares formando estructuras **supra moleculares** e incluso estructuras más grandes que tengan usos prácticos. Los productos de la nano fabricación están aún en el ámbito mínimo e invisible de los nano dispositivos menores a los 100 nanómetros en tamaño.

**PASO TRES: manufactura molecular** Esta aplicación de la tecnología atómica, considerada por algunos como el fin último, y un sueño de opio por otros, saca al *paso dos* de su ámbito invisible. El propósito es utilizar algún sistema de producción masiva, tal vez robots nanoescalares auto replicables, para manufacturar cualquier clase de bien de consumo de cualquier escala.

**PASO CUATRO: Átomo y Eva (lo nano, biónico)** Este paso entraña utilizar nano materiales que afecten procesos bio químicos y celulares. Lo nano, biónico, podría significar, simplemente, el uso de materiales desarrollados en lo nanométrico para fabricar articulaciones artificiales, o ser tan complejo como el desarrollo de bio-nano-híbridos —que utilicen máquinas nanométricas dentro del cuerpo humano para ejecutar funciones celulares, hacer que la materia viva trabaje como parte de alguna nano máquina o combinar material biológico o no biológico en la creación de nuevos materiales con propiedades útiles, lo que implicaría la posibilidad de auto ensamblaje y auto reparación.

¿Son acaso seguras algunas de estas subseries de la nueva tecnología? ¿Son algunas más ficción que ciencia? ¿De qué manera perturbarán el ambiente estas tecnologías atómicas? ¿Cómo afectarán la economía?

*Ya tuvimos la edad de piedra,  
la edad de bronce,  
la edad de plástico...  
El futuro nos depara  
la edad de los materiales diseñados.*

SHUGUANG ZHANG

director asociado del centro de ingeniería bio médica  
del Massachusetts Institute of Technology (MIT)<sup>1</sup>

## PASO UNO: lo nano a granel: la producción de nano partículas

El *paso uno* da cuenta de la mayoría de los productos asociados con la tecnología atómica de hoy. Implica la producción de partículas nanométricas (elementos puros, preparados simples y **compuestos** utilizados en la producción a granel de aerosoles, polvos y recubrimientos). El *paso uno* incluye también las herramientas necesarias para producir y manipular materiales nanométricos. Veeco, una compañía con sede en Nueva York, es especialmente notable en el campo de herramientas y equipo. Después de adquirir a tres de los fabricantes de microscopios de fuerza atómica (MFA o AFM, por sus siglas en inglés) y propiedad intelectual clave, Veeco domina el mercado mundial de MFA<sup>2</sup> —se dice que controla el 89 por ciento del mercado global.<sup>3</sup> Las proyecciones indican que el mercado de microscopios de fuerza atómica crecerá de 181 millones de dólares a 800 millones de dólares para el año 2007.<sup>4</sup>

Se estima que en la actualidad existen unas 140 compañías a nivel mundial que producen nano partículas.<sup>5</sup> Las proyecciones indican que el mercado mundial de nano partículas crecerá 13 por ciento por año, llegando a exceder los 900 millones de dólares hacia el año 2005.<sup>6</sup> Hoy, las nano partículas se usan en la manufactura de anteojos que no se rayan, pinturas resistentes al craquelado, recubrimientos anti *graffiti* para muros, filtros solares transparentes, telas repelentes a las manchas, ventanas que se limpian solas y recubrimientos de cerámica, más aguantadores, para celdas solares. Las partículas nanométricas pueden ayudar a producir superficies y sistemas más resistentes, más ligeros, más limpios y más “inteligentes”.

En la nano escala, las propiedades de las partículas pueden cambiar en formas novedosas e insospechadas. Por ejemplo, las nano partículas de óxido de zinc usadas en los filtros solares tienen la misma composición química y fórmula (ZnO) que las partículas de óxido de zinc más grandes—esa crema blanca que por años se han untado en la nariz los salvavidas en las playas— pero el ZnO nanométrico es transparente. Otro ejemplo es el óxido de antimonio-estaño. Cuando a un recubrimiento se le incorporan nano partículas de óxido de antimonio-estaño, se vuelven resistentes a las rayaduras y ofrecen una protección transparente contra la radiación ultravioleta.

Según Richard Siegel, del Rennselaer Polytechnic Institute, uno de los promotores y líderes de la *Iniciativa Nacional en Nanotecnología*, de la Casa Blanca, durante el gobierno de Clinton, la manufactura de partículas nanométricas traerá incluso una transformación industrial que eclipsará la Revolución Industrial europea de fines del siglo XVIII y principios del XIX. La exhuberante visión de Siegel es todavía más impresionante, pues considera que toda esta nueva economía será impulsada únicamente por la producción de nano materiales, descartando la posibilidad de arribar a maquinaria auto replicable, a la que califica de ciencia ficción (ver *paso tres*).

**MOLÉCULAS MILAGROSAS: nanotubos y buckyballs:** El *paso uno* incluye la manufactura de moléculas de carbono puro conocidas como nano tubos y *buckyballs*. Los nano tubos y las *buckyballs* pertenecen a la misma familia química de los fullerenos. Pero cuando la gente se refiere a los fullerenos, hablan comúnmente de las *buckyballs*. El descubrimiento de los nano tubos y las *buckyballs* es importante porque estas moléculas tienen propiedades únicas con enormes aplicaciones comerciales. Los nano tubos son cien veces más resistentes que el acero pero seis veces más ligeros; conducen mejor la electricidad que el cobre y pueden actuar también como semi conductores. Algunos predicen que los transistores nanoescalares de carbono reemplazarán a los transistores de silicio en los próximos diez años. Para que esto suceda, la industria debe ser capaz de refinar las técnicas de manufactura de los nano tubos, de modo de producirlos unifor-

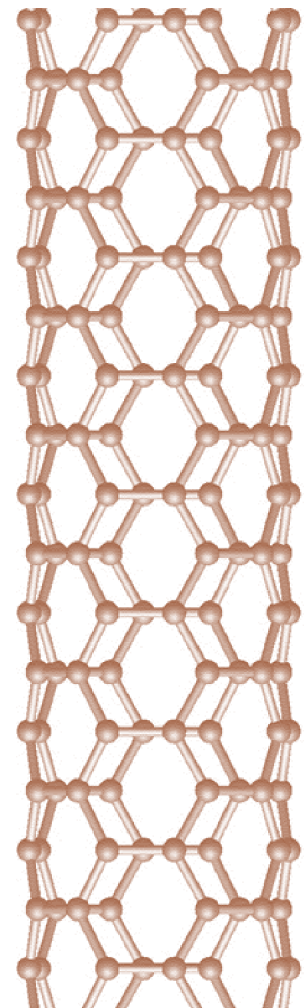
mes y a bajo costo. En 1999, el costo de las *buckyballs* era de 600 dólares el gramo. Tres años después, el costo bajó a 30 dólares el gramo. Los analistas de la industria predicen que, con los rápidos avances logrados en los procesos de producción, para finales de 2002 el precio de las *buckyballs* caerá a 10 dólares el gramo.<sup>7</sup> Los innovadores japoneses presumen de que lograrán bajar el precio de los nano tubos un 90 por ciento, en tan sólo un año.<sup>8</sup>

Babolat, fabricante francés de raquetas de tenis, ya incorpora nano tubos en sus raquetas Nanotube vs, pero pueden usarse también para fortalecer y aligerar toda clase de materiales, incluyendo implantes de hueso y articulaciones artificiales. Dado que los nano tubos son buenos conductores de la electricidad, hay esperanzas de que auspicien diagnósticos más precisos y rápidos en el campo bio médico y métodos más eficaces de suministrar medicamentos.<sup>9</sup> Un químico de la Universidad de Stanford, por ejemplo, trabaja en el desarrollo de un sensor de glucosa que requiere un solo nano tubo de carbono que podría implantarse en pacientes con diabetes.<sup>10</sup> En referencia a las aplicaciones potenciales del carbono nanoescalar en el campo de la medicina, el profesor Richard Smalley, de Rice University, Premio Nobel, dice animoso: “Mil años después de hoy, me sorprendería mucho si al despertar de un sueño criogénico me encontrara con que hallaron una solución que no implique [nano]tubos”.<sup>11</sup> Debido a sus propiedades semi conductoras, los nano tubos pueden ser los ladrillos de construcción de computadoras más pequeñas y rápidas; los transistores formados por nano tubos han demostrado un desempeño superior al de los transistores de silicio.<sup>12</sup>

**Qué son** Ambos, las *buckyballs* (apodo de los fullerenos) y los nano tubos, son moléculas formadas únicamente por átomos de carbono. Las *buckyballs* son una de las tres formas cristalinas del carbono: el grafito y el diamante son las otras dos. Las *buckyballs* (contracción del término buckminsterfullerenos) son esferas perfectas, conformadas por sesenta átomos de carbono dispuestos como los pentágonos y hexágonos de una pelota de soccer. Les fue conferido su nombre en honor a R. Buckminster Fuller, el inventor que insistió en que la estructura arquitectónica ideal es el domo geodésico. Cuando la gente habla de fullerenos por lo general se refiere a las *buckyballs*. Los nano tubos son un miembro de la familia química de los fullerenos, pero por supuesto no son esféricos. Como lo sugiere su nombre, los nano tubos son largos y delgados y tienen la forma de un tubo. Pueden estar huecos como un popote (se les llama nano tubos de una sola pared) o estar enrollados uno en otro como los carteles que se guardan en un tubo de transportación postal (son los nano tubos de paredes múltiples).

**Por qué son importantes** Mucha gente insiste en que los nano tubos son el “material milagroso” de la tecnología atómica porque exhiben características que los tornan ideales para un impresionante espectro de aplicaciones, de la manufactura de naves espaciales y automóviles a la electrónica —incluidos los transistores y las celdas de combustible— e incluso bio sensores y dispositivos para suministrar medicamentos. Los nano tubos son 100 veces más resistentes que el acero y seis veces más ligeros; pueden ser tan delgados como para medir un nm de diámetro y tan largos que midan 100 mil nm. Dependiendo de la configuración, los nano tubos pueden ser buenos conductores de la electricidad o actuar como semi conductores en la electrónica molecular.

**¿Existen naturalmente?** Depende de lo que entendamos por “natural”. El carbono es un elemento cuantioso en la Tierra, en los alimentos que ingerimos y en nuestro cuerpo; es también cuantioso en el espacio exterior pues las estrellas moribundas lo emanan. La estrella más brillante en nuestro cielo nocturno, conocida como CW Leonis, es particularmente interesante para los investigadores del carbono pues está rodeada de una bru-



Vista lateral de un nano tubo metálico

*En un campo en el que ocurren más de 12 mil emplazamientos por año, nos sorprende que ningún mecanismo de evaluación haya cuestionado investigación previa alguna en torno al desarrollo de nano materiales, y que no se emprendan estudios toxicológicos para evaluar los nano materiales sintéticos.*

VICKI COLVIN

directora del centro de nanotecnología biológica y ambiental de Rice University,

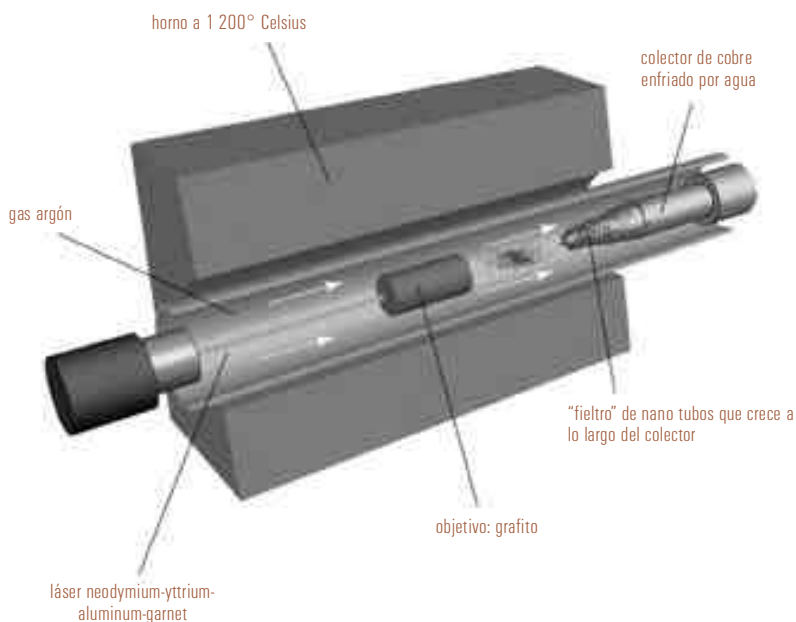
“Responsible Nanotechnology: Looking Beyond the Good News”

[www.eurekaalert.org](http://www.eurekaalert.org)

ma de moléculas de carbono, algunas de ellas conformadas por grandes cantidades de átomos. En 1985, científicos de Inglaterra y Estados Unidos que colaboraban en una investigación pudieron replicar este ambiente interestelar en sus laboratorios. Entre las moléculas de carbono que habían formado descubrieron *buckyballs*.<sup>13</sup> A diferencia de las *buckyballs*, no se sabe que existan nano tubos naturalmente, ni en la Tierra ni en el espacio exterior. Los nano tubos fueron descubiertos en 1991 por Sumio Iijima, de Japón, mientras experimentaba un método para producir *buckyballs*. Hoy los científicos pueden producir a voluntad —y a granel— nano tubos y *buckyballs*.

**Cómo se manufacturan** Ambos tipos de moléculas de carbono se auto ensamblan, es decir, dadas las condiciones correctas, se forman por sí mismas mostrando su configuración distintiva. Existen varios diferentes métodos para hacer nano tubos y *buckyballs*. Casi todos los métodos parten de una forma común del carbono (el grafito) y una pequeña cantidad de metal (usado como catalizador) Cuando el grafito y el metal se calientan a temperaturas extremas (en uno de los métodos ésta es de unos 1 200 grados Celsius) el carbono se desdobra en átomos individuales. Cuando los átomos de carbono se condensan, se configuran solos como nano tubos o esferas.

**ENTRÁNDOLE AL NEGOCIO:** Infinidad de laboratorios en todo el mundo fabrican ya nano tubos y *buckyballs*. Técnicamente no es posible patentar nano tubos ni *buckyballs* pues son descubrimientos, no invenciones. Pero los innovadores se apresuran a presentar sus propios alegatos —en esta fiebre de oro nanoescalar—, en aras de obtener patentes de algún novedoso método de fabricación de nano tubos y *buckyballs*. En 2001 se registraron o se otorgaron más de 200 patentes que implicaban nano tubos de carbono; casi la mitad de estas patentes cubrían su síntesis y procesamiento.<sup>14</sup> Se anuncia que el mercado de nano tubos sumará los 430 millones de dólares en 2004.<sup>15</sup> Los analistas de la industria predicen que el mercado de nano tubos se expandirá a miles de millones de dólares una vez que los métodos comerciales permitan una producción más rápida y más



Pueden producirse nano tubos apuntando un rayo laser a un bloque de grafito, lo que lo vaporiza. El contacto con un colector de cobre enfriado hace que los átomos de carbono asuman la forma de tubos. Ilustración de Aaron Cox/American Scientist. Usada con permiso

barata. Unas 55 compañías fabrican nano tubos de carbono y por lo menos veinte más se preparan para producir *buckyballs* a escala comercial, lo que puede significar cientos de toneladas de las mismas, anualmente.<sup>16</sup> Rosseter Holdings Ltd. ha estado produciendo nano tubos en Chipre desde 1998.<sup>17</sup> Dos compañías japonesas acaban de iniciar su manufactura en cantidades masivas: Frontier Carbon Corporation (empresa conjunta de Mitsubishi Corp. y Mitsubishi Chemical Corp) planea producir 40 toneladas de nano tubos para 2003 y Carbon Nanotech Research Institute se propone producir 120 toneladas por año.<sup>18</sup> En 2002, NanoDevices, Inc., empresa con sede en California, comenzó a vender un horno de nano carbono “para armar” —el “EasyTube NanoFurnace”— por el equivalente a 89 mil dólares.<sup>19</sup>

**CUÁLES SON LOS RIESGOS:** Hasta hace poco, las partículas nanométricas eran muy bien recibidas como algo benéfico y totalmente inocuo. Sin embargo, en marzo de 2002 los investigadores revelaron, para sorpresa de todo mundo, que se han hallado nano partículas en los hígados de animales de laboratorio, que se pueden colar a las células vivas y tal vez montarse en alguna bacteria y así entrar a la cadena alimentaria. Estos inesperados hallazgos han sido poco reportados y muy ignorados por los principales medios de comunicación. Los científicos del Centro de Nanotecnología Biológica y Ambiental de Rice University (CBEN, por sus siglas en inglés), fueron los primeros en hacer del dominio público sus preocupaciones en torno al *paso uno* de la tecnología atómica, y lo hicieron en una reunión de recolección de datos de la Agencia de Protección Ambiental estadounidense en Washington, DC.<sup>20</sup> Según Mark Wiesner, de Rice, las pruebas para medir la acumulación de materiales en el hígado de animales de laboratorio demuestran que las partículas nanométricas —pese a ser inorgánicas— pueden acumularse en el organismo: “Sabemos que las células captan los nano materiales. Eso nos alarma... si una bacteria puede alojarlos, entonces existe un punto desde donde los nano materiales pueden colarse a la cadena alimentaria.”<sup>21</sup> Es igualmente alarmante que Wiesner insista en la necesidad de examinar si las nano partículas absorbidas por las bacterias aumentan la capacidad de otros materiales, incluidos los tóxicos, de colarse a las bacterias y ocasionar daños. Wiesner cuestiona: “¿Qué pasará si no podemos controlar las nano partículas del modo en que controlamos los polvos?”<sup>22</sup> ¿No podría ocurrir que justo lo que hace tan atractivas las nano partículas para el desarrollo de sistemas de administración de medicamentos —en específico su capacidad para entrar con facilidad al torrente sanguíneo e incluso dirigirse, debido a su tamaño diminuto, a células concretas— sea lo que las hace peligrosas para los humanos?

Los investigadores de Rice University están especialmente preocupados por el uso comercial de los nano tubos de carbono. Wiesner, profesor de Ingeniería Civil y Ambiental, se pregunta: “¿A dónde se va esta cosa? ¿Cuál será su interacción con el ambiente? ¿Es lo mejor después del pan rebanado o el siguiente asbesto?”<sup>23</sup> Wiesner señala que las compañías quieren usar nano tubos de carbono en las llantas radiales. Las viejas llantas usadas son bastante ubicuas en traspatios, rellenos de suelo, fondos de lago y aguas subterráneas. ¿También los nano tubos?

La comparación que hace el doctor Wiesner entre los nano tubos de carbono y el asbesto no es meramente retórica. Los nano tubos de carbono se asemejan, por su forma, a las fibras del asbesto: ambas son largas y parecen agujas. Según el doctor Wiesner, actualmente los nano tubos no representan una gran amenaza porque, en nuestro medio ambiente, tienden a amontonarse en vez de existir como fibras aisladas (lo que sí ocu-

**Información noticiosa:** Las nano partículas se acumulan en el hígado de animales de laboratorio



“Puede haber un ligero problema... pero es uno muy, muy pequeñito”

rre con las fibras de asbesto, por lo que sí tienen el potencial de ocasionar serios problemas respiratorios). Sin embargo, una de las áreas de investigación intensiva en curso es imaginar alguna manera de solubilizar nano tubos —es decir, una manera de separarlos— para que puedan usarse como fibras separadas, individuales.<sup>24</sup> El año pasado la Universidad de Kentucky obtuvo dos patentes en Estados Unidos sobre métodos para hacer solubles nano tubos en soluciones orgánicas.<sup>25</sup> Existen muy pocos estudios que nos ilustren los efectos de aspirar fibras de nano tubos, o de su uso en la administración de medicamentos, el diagnóstico de enfermedades, o como bio sensores.

Algunos abogados de la industria minimizan la preocupación de que los nano tubos de carbono entrañen riesgos semejantes a los que el asbesto tiene para la salud, poniendo por delante un estudio llevado a cabo, durante 2001, en la Universidad de Varsovia, Polonia. Los investigadores inyectaron nano tubos en la traquea de algunos cobayos. Cuatro semanas después, los pulmones de los animales no mostraban inflamación medible ni cambios en su funcionamiento. Los autores de este estudio polaco llegaron a la arrasadora conclusión siguiente: “Entonces, es muy poco probable que trabajar con hollín que contenga nano tubos de carbono esté asociado con algún riesgo para la salud”.<sup>26</sup> (De someter el humo del tabaco a tales criterios, podría declararse que fumar es una actividad perfectamente saludable.)

La inmunóloga Silvana Fiorito, quien trabaja en Montpellier, Francia, ha descubierto —en investigación preliminar— que cuando una partícula de carbono puro de una micra de ancho (en la forma de grafito), es introducida a la célula, ésta responde produciendo óxido nítrico, lo que indica que el sistema inmunológico trabaja: el cuerpo se defiende contra la sustancia extraña e invasora.<sup>27</sup> Cuando una partícula nanoescalar de la misma sustancia —carbono puro— se añade a las células (sea en la forma de nano tubo o *buckyball*), las células no pueden producir una respuesta inmunológica —aceptan el carbono ajeno cual si fuera un pariente desaparecido tiempo atrás. Esta capacidad para traspasar el sistema inmunológico puede ser algo útil en la administración de medicamentos pero ¿qué pasa cuando se cuelan nano partículas no invitadas? En otras palabras, dado que los nano tecnólogos hallaron la manera de distraer al guardia de la puerta, ¿cómo nos aseguramos de que no haya un alboroto adentro?

Pese a los hallazgos recientes de los riesgos potenciales que entraña la tecnología atómica en el *paso uno*, y pese al hecho de que por todo el mundo los gobiernos se gastan miles de millones de dólares para impulsar el negocio de lo *nano* a escala comercial, no existe un organismo regulador (ni prospectos de alguno) que se dedique a supervisar esta nueva y poderosamente invasiva tecnología. Actualmente, la Agencia de Protección Ambiental estadounidense, por ejemplo, distribuye no más del 10 por ciento de sus erogaciones relacionadas con la investigación nanotecnológica a “los beneficios y los efectos dañinos potenciales de la nanotecnología en el nivel de la sociedad”. Dadas las enormes implicaciones potenciales que tiene para el ambiente y la salud humana, es necesario que entendamos —ya, ahora— los efectos que una economía de manufactura, completamente nueva, tendrá en lo social.

## Evaluación ETC

Ya que la tecnología atómica actual trabaja, por lo general, con los ladrillos elementales de construcción de la vida —y no con la vida directamente— ha logrado evadir, en gran medida, el escrutinio social, político y ambiental. Hasta el momento, los organismos reguladores no han establecido ni políticas ni protocolos que consideren los riesgos posibles de la tecnología atómica de *paso uno*. Ésta trabaja con nano partículas incluidas en productos que ya se encuentran en el mercado y con la creación de nuevas formas nanoescales del carbono. En este momento no sabemos prácticamente nada acerca del impacto acumulativo que pueden entrañar —para la salud humana y el ambiente— estas partículas nanométricas, hechas por el hombre.

Las preocupaciones que existen debido a la contaminación ocasionada por las nano partículas en organismos vivos, nos hacen insistir en que los gobiernos deberían declarar una moratoria inmediata a la producción comercial de nuevos nano materiales e impulsar un proceso de evaluación, global, transparente, de las implicaciones socio económicas, de salud y ambientales, de la tecnología.

## PASO DOS: nano fabricación: construir con viruta atómica

Como lo vimos en el *paso uno*, los nano tecnólogos son ya capaces de manufacturar partículas nanométricas y de instrumentar el fenómeno del **auto ensamblaje** para hacer nano tubos. El auto ensamblaje es indispensable para transitar de la manufactura de partículas con propiedades útiles (*paso uno*) a complejas y útiles estructuras conformadas por múltiples moléculas (*paso dos*). El término *auto ensamblaje* se refiere al proceso que involucra el uso de catalizadores y energía para ejercer un control cuidadoso de las reacciones químicas, logrando así los resultados esperados, de forma espontánea. Los científicos han observado el auto ensamblaje químico, con resultados en la micro escala, por décadas (y por muchos más años en la escala del matraz); hoy buscan resultados en el nivel nanoescalar.

El propósito del *paso dos* es manipular y ensamblar partículas nanométricas para formar construcciones supra moleculares e incluso estructuras mayores de uso práctico. Esto se conoce como nano fabricación, e implica idear ladrillos de construcción moleculares que automáticamente embonen unos con otros según formas prediseñadas. Es importante enfatizar que la nano fabricación no es construir sillas o casas o computadoras mediante un auto ensamblado molecular. El fin último del *paso dos*, la nano fabricación, permanece aún en el ámbito invisible nanoescalar —menor a 100 nanómetros.

Idear la manera de construir estructuras funcionales a partir de viruta atómica y molecular se encuentra todavía en sus etapas iniciales. Se están desarrollando productos de la nano fabricación para usarse en circuitos electrónicos, bio sensores o nuevos **polímeros** que manipulen la luz en los sistemas ópticos de comunicación. El anhelo de construir dispositivos electrónicos cada vez más pequeños, más rápidos y más baratos, empuja la tarea del nivel micro al nanométrico. En palabras de los químicos George Whitesides y J. Christopher Love, de la Universidad de Harvard, “se han roto los moldes micro electrónicos”.<sup>28</sup>

Ahora prosigue la carrera por idear cómo construir nano estructuras, más rápido y más barato. Los investigadores exploran todo método plausible, incluyendo técnicas *descendentes* o *ascendentes*. Varias formas de la litografía (el método tradicional para fabricar circuitos en los micro chips) se están modificando para producir estructuras nanométricas —pero miniaturizar este proceso *descendente* es latoso, lento y costoso. Como alternativa, los investigadores recurren a métodos *ascendentes* que parten de átomos y moléculas y las arman como nano estructuras funcionales. Los nano tubos podrían convertirse en los materiales idóneos para construir dispositivos nanométricos —una vez que los investigadores aprendan a controlar y manipular sus propiedades especiales.

Se piensa que dentro de algunos pocos años, usar moléculas a modo de elementos en un circuito será una realidad comercial enormemente lucrativa. Firmas electrónicas como Motorola y Samsung ya prueban prototipos de televisiones nano tubulares (con pantalla plana y alta definición). Si los transistores moleculares funcionan, los nano tubos de carbono podrían reemplazar al silicio y serían las piezas para armar computadoras ultraveloces que ejecuten “órdenes de magnitud” que rebasan lo que el silicio puede ejecutar.<sup>29</sup> (Usando los dispositivos micro electrónicos más avanzados de la actualidad, caben 42 millones de transistores en un chip de una Pentium 4 de Intel. Las computadoras nano tubulares del futuro contendrán chips que alojen miles de millones de transistores moleculares.)<sup>30</sup>

## Evaluación ETC

Todos los riesgos del *paso uno* se presentan también en el *paso dos*. Además, los productos nano fabricados pueden tener aplicaciones bio médicas que pondrán los dispositivos nanométricos en contacto íntimo con el cuerpo humano. Se desconocen los riesgos.



El físico Martin Guthold hace uso de una mesa de trabajo nanométrico, como parte de un sistema manipulador, para investigar las propiedades mecánicas y eléctricas de un montón de nano tubos de carbono. Foto de Larry Ketchum. Usada con permiso.

*Pero no temo considerar la cuestión de si en última instancia —en el gran futuro— podremos ensamblar los átomos en la forma que queramos; y los mismos átomos hasta en lo más mínimo.*

RICHARD FEYNMAN

“Hay mucho lugar en el fondo”, 1959<sup>31</sup>

### PASO TRES: manufactura molecular —Goliats invisibles

Muchas personas creen que algún día los científicos serán capaces de controlar de manera tan total y precisa el posicionamiento de los átomos, que cualquier objeto del que se conozca su composición atómica podrá ensamblarse a partir de sus componentes primarios (desde estantes a edificios). El arte de la construcción en la macro escala, átomo por átomo, se conoce como **manufactura molecular** o **nanotecnología molecular**. La dificultad estriba en dirigir los átomos de modo que se ensamblen solos de acuerdo a la configuración planeada —y que esto se ejecute lo suficientemente rápido como para poder ir por el pavo y ponerlo en la mesa justo a tiempo para alimentar a los tata-tata nietos. Hoy se debaten acaloradamente los alcances de la manufactura molecular.

Aunque los *pasos uno* y *dos* son hoy una realidad, el *paso tres* está en la fase conceptual. Mientras muchos científicos importantes aseguran que el *paso tres* nunca llegará, hay otros que creen fervientemente que algún día “en nuestra vida y la vida de nuestros hijos”<sup>32</sup> será posible programar la materia, con precisión molecular, al nivel de la macro escala.

Más allá de la simple incorporación de nano partículas a los materiales convencionales para mejorar su desempeño (*paso uno*), algunos científicos buscan diseñar-construir objetos macrométricos formados únicamente por componentes nanoescalares, procediendo en forma *ascendente*. Objetos así podrían tener propiedades completamente nuevas, nunca antes identificadas en la naturaleza. Si un ladrillo de cerámica o una parte metálica, por ejemplo, se construyeran por completo partiendo de nano partículas, el área superficial aumentaría en forma dramática porque mientras más pequeño es un objeto, mayor sería la proporción de sus átomos que están en, o cerca de, la superficie.<sup>33</sup> Aunque la composición química se mantuviera igual y únicamente el tamaño de las partes cambiara, el aumento en el área superficial significaría que el ladrillo o pieza de metal nano construido sería más duro, menos propenso a rayarse y más resistente a los extremos (de presión, temperatura, luz, etcétera).

**VISIONES DE LA CONSTRUCCIÓN MASIVA:** Fue κ. Eric Drexler, en *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (1990), el primero en elaborar la visión real del *paso tres*: fabricar casas o automóviles completos mediante una construcción, átomo por átomo, es un salto colosal que trasciende la mera incorporación de componentes nano estructurados a la manufactura convencional de un auto o una casa. En la visión de Drexler, un transistor nano tubular de una computadora no será un elemento nano fabricado que se incluya en una computadora construida de otras maneras, algo implícito en el *paso dos*. En cambio, todo el artefacto —la pantalla, los circuitos, el teclado, el disco y hasta la caja de cartón— se fabricarían como una unidad, átomo por átomo. A la tecnología atómica de *paso tres* Drexler la llama *nanotecnología molecular*, aunque algunas veces se refiere a ella como *manufactura molecular* y otras le llama *nanotecnología en fase de maquinaria*. Por difícil que sea imaginarlo, según Drexler cualquier objeto —“computadoras, motores de cohetes, sillas, y más”— podrían fabricarse programando las moléculas adecuadas para ensamblar las configuraciones precisas.

En un escenario planteado por el *paso tres*, un ingeniero en tecnología atómica se sienta frente a la pantalla de una computadora conectada a un microscopio de fuerza atómica “mejorado”, con el fin de programar que módulos de nano robots se reconfiguren solos para construir el mobiliario de una sala de estar a partir de sus átomos. En otro escenario del *paso tres* vemos a un adolescente hambriento que busca en la red electrónica la forma de cargar en su computadora los planos de una hamburguesa. Después introduce una hoja con la apariencia del plástico en la nano ensambladora familiar y saca una hamburguesa real, lista para comer. ¿Podrán ser una realidad estos escenarios? ¿Cómo?

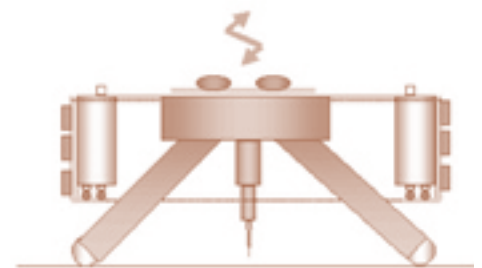


**AUTO ENSAMBLADORES:** Drexler predice que el trabajo en la construcción, átomo por átomo, será ejecutada por robots nanoescalares dirigidos por computadora a los que llama **ensambladores** —pequeños Henry Fords que laboran en fábricas del tamaño de las células. Las fábricas contendrán nano maquinaria montada en espacios moleculares, con bandas transportadoras que movilizan las partes de máquina a máquina. Estas fábricas, del tamaño de una célula, tendrán una serie de brazos ensambladores programables en el exterior, que pueden reproducirse y repararse solos. Drexler piensa que dichos nano módulos podrían ser relativamente uniformes e intercambiables, y con la posibilidad de allegarse herramientas específicas según lo que se piense construir. Dado que el mundo entero está formado por apenas unos cien diferentes bloques de construcción (la Tabla Periódica) —y, como en nuestros cuerpos, casi todo depende en gran medida de unos cuantos elementos— podría allegarse a nuestra propia computadora un estilo de construcción que los suecos llaman IKEA (a partir de una popular cadena sueca de mueblerías, muy extendida por el mundo, que vende módulos “hágalo usted mismo”). Es decir, productos para armar. Lo importante es que aunque los productos finales sean “macro”, el proceso de fabricación estaría en el nivel nanométrico y sería virtualmente invisible.

**UN PULGARCITO ATENTO:** Se han dado ya pasos gigantes dirigidos a crear robots nanoescalares. Los investigadores del laboratorio de bio instrumentación del Massachusetts Institute of Technology (MIT) han desarrollado cientos de robots trípodes, cada uno del tamaño de un pulgar. Estos robots están equipados con computadoras integradas, bio sensores y microscopios de barrido en túnel, y son capaces de medir y ensamblar estructuras a escala molecular. Con una altura de apenas 32 milímetros, estos micro robots (conocidos como NanoWalkers, o *nano ambulantes*, porque son capaces de ejecutar 4 mil maniobras nanométricas por segundo) están diseñados para responder a señales infrarrojas, lo que les permite actuar, a cada uno de ellos —con independencia o colectivamente—, en una miríada de tareas. Estas máquinas diminutas son capaces de ejecutar 48 millones de instrucciones por segundo. MIT predice que pronto tendrá más de cien micro robots trabajando duro en tareas individuales, pero relacionadas, dentro de una cámara recubierta de cromo, del tamaño de una mesa de baraja. La superficie de cromo proporciona una fuente de energía a los robots, que recibirán órdenes de una computadora maestra en el techo de la caja.<sup>34</sup>

Los científicos de MIT anticipan que, en un futuro cercano, este micro ejército tendrá la capacidad de manipular moléculas aisladas e incluso reorganizar átomos. Estas máquinas, capaces de realizar 200 mil mediciones por segundo, pueden usarse en principio para analizar compuestos químicos y ayudar al desarrollo de nuevos fármacos. Sin embargo, es obvio que no hay límite a las tareas que pueden desempeñar, incluido el ensamblar y reparar a sus colegas micro robots y la eventual construcción de nano robots todavía más diminutos.

**SEXO ATÓMICO:** Aunque maravillosos, los NanoWalkers no pueden ejecutar la única función que haría realidad el *paso tres* que Drexler avizora: no pueden procrear. La *auto replicación* se refiere a la posibilidad de que los ensambladores de los que habla Drexler hagan copias de sí mismos, pero también a la capacidad de configurar átomos y moléculas en masa. La noción de unos ensambladores auto replicables es el punto donde se atora la mayoría de los químicos y físicos porque no creen que pueda lograrse. ¿Pero cómo, si no, podría hacerse realidad la manufactura molecular? Los átomos son tan pequeños que construir algo, digamos del tamaño de la cabeza de un alfiler, átomo por átomo —incluso molécula a molécula, a la tasa de un ensamblaje por segundo—, tomaría más tiempo que la historia del mundo.<sup>35</sup> Un solo gramo de carbono contiene 50 000 000 000 000 000 000 000 000 de átomos: ensamblar los suficientes de ellos para que



Robot “NanoWalker” (nano caminante) de MIT  
32mm de altura

con grafito formado, digamos, se llenara un lápiz, tomaría tanto como la vida del Padre Cronos.<sup>36</sup> Pero si pudiera crearse un tipo de ensambladores (llamados **replicadores**) capaces de producir copias de sí mismos y si los ensambladores y replicadores pudieran cooperar al unisono, en una especie de cruza entre la línea de montaje nanoescalar y la cría en establo, podrían ser capaces de crear productos en la macro escala.<sup>37</sup> Los ejércitos de nano robots podrían construirlo todo desde una hamburguesa Big Mac hasta una computadora Mac Apple o incluso una ciudad como Nueva York. Un batallón de billones de nano robots sería pequeño a simple vista.<sup>38</sup>

**¿CABELLOS BIFURCADOS?:** La mayoría de los científicos descarta la nano fabricación en la macro escala calificándola de película de Hollywood o novela de ciencia ficción. En el número de septiembre de 2001 de *Scientific American*, apareció un “debate” acerca de la posibilidad de que algún día existan nano máquinas auto replicables. Drexler reiteró su punto de vista: construir objetos de gran escala con precisión molecular mediante ensambladores capaces de auto replicarse. Richard Smalley (ver *paso uno*) descartó por completo la posibilidad: “No es posible la existencia de nano robots mecánicos auto replicables en nuestro mundo. Poner cada átomo en su lugar —punto de vista expresado por algunos nano tecnólogos— requeriría dedos mágicos. Un nano robot así nunca será sino un sueño futurista”.<sup>39</sup> George Whitesides, quien ha construido nano estructuras funcionales mediante auto ensamblaje (ver *paso dos*), también rechaza la nanotecnología molecular de Drexler. “Si no sabemos cómo hacer máquinas auto replicables de ningún tamaño o tipo... no entiendo cómo vamos a diseñar un sistema de máquinas auto replicable y auto suficiente”, escribió.<sup>40</sup> (Drexler y sus colegas del Instituto de Manufactura Molecular han escrito réplicas detalladas a las objeciones de Smalley y Whitesides, que están disponibles en la red electrónica.)<sup>41</sup>

Aunque Drexler piensa que se pueden crear máquinas nanométricas utilizando como modelo la maquinaria común en nuestro mundo mecánico, continuamente se inspira en el mundo bio molecular. Y explica: “Al crecer, sanar y renovar tejidos, el cuerpo es un sitio de construcción. Las células toman materiales del torrente sanguíneo. La maquinaria molecular programada por los genes de las células usa dichos materiales para armar las estructuras biológicas: todo lo que hay en el cuerpo humano está construido por máquinas moleculares —asentar hueso y colágeno, formar células totalmente nuevas, renovar la piel, restañar heridas. Estas máquinas moleculares

[los ensambladores] construyen moléculas, y más máquinas moleculares [los replicadores]”.<sup>42</sup> Whitesides reconoce también el éxito de la nano maquinaria de la naturaleza pero mantiene que “sería un logro asombroso que pudiéramos imitar la célula viva más simple”.<sup>43</sup>

¿Es la auto replicación mecánica y la manufactura molecular de gran escala sólo sueños de opio de ingenieros demasiado engreídos? Podemos estar seguros de que la manipulación de la materia a gran escala está a la vuelta de la esquina aunque no asuma las formas precisas que Drexler vaticina. Puede haber otras opciones para conseguir una producción masiva, de macro escala, que no se apoye ni en líneas de ensamblaje que atienden trabajadores poco remunerados ni nano robots auto replicables. La opción más prometedora sería montar y dirigir nano maquinaria que ya existe en la naturaleza, ver *paso cuatro*, es decir, que empecemos a pensar *dentro* de la caja, desde dentro del organismo.

**Noticia:** Los científicos de la tecnología atómica afirman que pueden fabricar elementos que parchen el hoyo en la capa de ozono de la Antártica



**¿NO SE REQUIERE ENSAMBLAJE?** Un equipo de investigadores-estudiantes del Georgia Institute of Technology ha estado experimentando con una “manufactura basada en el espacio”, en la cual se colocan partículas dentro de cajas con gravedad cero y luego se les somete a frecuencias de sonido específicas.<sup>44</sup> Por sí mismo el sonido es capaz de hacer levitar las partículas y de moverlas. Variando la forma de la caja y la frecuencia del sonido, los investigadores han podido empujar las partículas de modo que formen las estructuras deseadas, por sí solas. El grupo de investigación ha refinado su técnica de “modelado acústico” al punto de que pueden formar superficies curvas y cilindros. Hasta el momento, el costo es prohibitivo y la escala es “de laboratorio”, para nada algo “industrial”, pero según los investigadores, la manufactura acústica ofrece enorme potencial: fabricación en gran escala a partir de partículas de compuestos y ¡no se requiere ensamblaje!

**¿CUÁLES SON LOS RIESGOS? La plaga gris** Qué pasaría si los nano robots comenzaran a construir sillas sin parar. Los procesos de auto replicación y ensamblaje podrían enloquecer hasta que el mundo fuera aniquilado por los nano robots y sus productos. El término *plaga gris* se refiere a la obliteración de la vida resultante de una diseminación accidental e incontrolable de los ensambladores auto replicables. Drexler mismo nos proporciona un ejemplo vívido de qué tanto daño podría acumularse a partir de un replicador que enloqueciera. “Si el primer replicador pudiera ensamblar una copia de sí mismo en mil segundos, los dos replicadores resultantes harían dos más en los siguientes mil segundos, los cuatro resultantes otros cuatro y los ocho resultantes otros ocho. Al finalizar diez horas no son ya 36 nuevos replicadores sino más de 68 mil millones. En menos de un día pesarían una tonelada; antes de dos días, pesarían más que la tierra; en otras cuatro horas, excederían la masa del sol y de todos los planetas combinados”.<sup>45</sup> Con el fin de evitar el apocalipsis de la *plaga gris*, Drexler y su Foresight Institute, una organización no lucrativa cuyo propósito es preparar a la sociedad para la era de la nanotecnología molecular (MNT, por sus siglas en inglés), ha establecido guías para desarrollar dispositivos MNT “seguros”. El instituto Foresight recomienda que se construyan nano dispositivos de tal modo que sean dependientes de una “única fuente de combustible o ‘vitaminas’ artificiales, las cuales no existen en el ambiente natural”. Foresight recomienda también que los científicos programen fechas “terminator” para sus creaciones atómicas<sup>46</sup> y que actualicen ¿su *software* anti viral en forma regular?

**También espías** Unos nano robots “inteligentes”, invisibles, y auto replicables capaces de recibir directrices a distancia y alterar sus programas, significan la muerte de quienes disienten. En un mundo que no se aboca a la diversidad ni a la democracia sería posible, para quienes detentan el poder, aniquilar toda oposición.

**Un mundo raro** Si los científicos encuentran la manera de utilizar la Tabla Periódica de la misma forma en que un pintor hace uso de su paleta de pigmentos, la industria estará en condiciones de manipular los materiales de tal modo que será imposible controlarlos en las escalas macro o micro. El **modelado cuántico**, que permite a los investigadores el uso de computadoras para predecir cómo se comportarán los materiales nanoescalares conforme a las reglas de la mecánica cuántica, les permitirá también diseñar materiales nunca antes fabricados.<sup>47</sup> Con una computadora lo suficientemente potente, los científicos podrán diseñar en detalle un material, átomo por átomo, y armar las características buscadas con un solo teclado. Incluso si insistiéramos en que la nano construcción es “natural”, a diferencia de la manufactura convencional, los procesos de construcción podrían llenar el mundo con productos de todo tamaño, tan raros a la naturaleza como todo lo diseñado por los ingenieros genéticos. Todos los ries-

gos de los *pasos uno y dos* se aplicarían al *paso tres*, con los enormes riesgos adicionales que implica la posibilidad de existencia de nano maquinaria auto replicable.

**Parches curativos atómicos** Más allá de la producción de materiales nanométricos que funcionen como bloques de construcción, podría ser posible utilizar la extracción de elementos específicos, o de compuestos, para alterar el ambiente (Drexler imagina “desensambladores” que pudieran trabajar en sentido opuesto a los ensambladores, desmontando sustancias, átomo por átomo, con fines de análisis o para extraer materia prima). Algunos sugieren que la tecnología atómica es nuestra única esperanza para evitar las catástrofes resultantes de terremotos, cambios climáticos y colisiones de aerolitos. Para sobrevivir a los efectos de una nube de polvo volcánico en la atmósfera, por ejemplo, podríamos desatar “robots celestes” que consumieran las partículas de polvo como si fueran alimento, y que podrían auto replicarse por billones.<sup>48</sup> Otros especulan que hay la posibilidad de “sembrar” los océanos para que absorban mejor los contaminantes o “sembrar” la estratósfera para parchar los agujeros en la capa de ozono. Se desconocen las implicaciones de tales experimentos y ocasionan gran preocupación. En vez de confrontar los problemas que subyacen al sobre consumo y el desperdicio, la industria considera la tecnología atómica como un medio para “medicar” la Tierra. ¿Necesitamos parches (que podrían, de hecho, provocar nuevos problemas) o vamos a encarar las realidades del mundo que hemos creado?

**Copias al carbón** La construcción, átomo por átomo, hace teóricamente posible que las tecnologías atómicas construyan la vida. Después de todo, la gente es 99 por ciento hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y carbono. (El adulto promedio carga unos 16 kilos de carbono.) La mayor parte del uno por ciento restante viene de 15 otros elementos que van del fósforo al cobalto, o al potasio-40, radioactivo. Una sola célula humana contiene 450 mil átomos de cobalto y 135 millones de átomos de zinc, por ejemplo.<sup>49</sup> La vida puede reducirse a encontrar la receta correcta. Una tecnología que puede crear vida puede también —salvo algún accidente en el diseño— darle fin a la muerte. Estamos lejos de entender o estar preparados para encarar estos aspectos que surgen de la tecnología atómica.

**Nano robots de energía nuclear** Un punto que crece en importancia es cómo asegurar una fuente de energía para las máquinas diminutas. Mientras algunos científicos se sumergen en investigar la posibilidad de usar rayos laser como fuente de combustible, otros proponen que las máquinas que funcionen a nivel micro deberían alimentarse a partir de baterías nucleares.<sup>50</sup> Los investigadores de la Universidad de Wisconsin en Madison, Estados Unidos, recibieron una donación de 970 mil dólares por tres años, del Departamento de Defensa estadounidense, a través la agencia de proyectos de investigación avanzada en defensa (Defense Advanced research Projects Agency-DARPA), con el fin de desarrollar tecnología para el caso.<sup>51</sup> ¿Se trata una vez más del “uso pacífico de la energía atómica, pero ahora con más filo?

## PASO CUATRO: Átomo y Eva —nano tecnología biónica

Es en este paso donde las tecnologías atómicas fusionan materiales biológicos y no biológicos para crear procesos y productos biónicos. Esta compactación podría “mezclar” personas con robots. Desde los sesenta del siglo XX, la ciencia y la cultura popular han llamado a tales creaciones *cyborgs* (es decir, *organismos cibernéticos* o *ciber organismos*). El físico teórico Stephen Hawking observa con tristeza que fusionar personas con máquinas tal vez sea la única manera en que la raza humana pueda ser lo suficientemente inteligente como para evitar que las máquinas se apoderen de nosotros.<sup>53</sup>

Una persona amputada, con una pierna protésica, y los pacientes cardíacos con marca-pasos implantados en el tórax, activados por baterías, podrían considerarse la primera generación de *cyborgs*, pero a quienes fusionan máquinas y humanos la tecnología atómica les permitirá caminos que nunca antes habían sido posibles. El *paso cuatro* tendrá como efecto manipulaciones nanoescalares que permitirán que los materiales nanométricos inertes y la materia viva sean compatibles y en algunos casos intercambiables. Recordemos que en el nivel de la nano escala se borra mucho la distinción entre un material biológico y uno no biológico.<sup>54</sup>

El ámbito nanométrico de lo vivo y lo inerte se fusionará en un camino de dos vías. El material vivo será extraído y manipulado de modo que ejecute funciones mecánicas y permita el desarrollo de materiales híbridos que combinen materiales biológicos y no biológicos (proceso al que nombramos *Bio-nano I*). El material biológico es cuantioso, barato y exhibe propiedades útiles —tales como el auto ensamblaje— que el material no biológico no presenta. Utilizando diferentes tecnologías, el material inerte puede usarse dentro de organismos vivos para ejecutar funciones biológicas (a este proceso le nombramos *Bio-nano II*).

### PROTEÍNAS QUE TRABAJEN TIEMPO EXTRA (Bio-nano I):

- Los investigadores están logrando que materiales nanométricos derivados de las células, funcionen como máquinas o se pongan al servicio de éstas. Un equipo de investigadores de Rice University indagan la F-actina, una proteína semejante a una fibra delgada y larga, que proporciona a la célula su apoyo estructural y controla su forma y movimiento.<sup>55</sup> Proteínas como la F-actina, son conocidas como proteínas filamentosas y permiten la transportación de electricidad en toda su longitud. Los investigadores esperan que algún día estas proteínas puedan usarse como bio sensores —y que actúen como alambre conductor eléctrico nanométrico. Estos alambres nanométricos proteínicos podrían remplazar al alambre nanométrico de silicio, que se usa como bio sensor pero que es mucho más caro de fabricar, y que podría tener impactos ambientales mucho mayores que los alambres nanométricos proteínicos.
- Un investigador del Rensselaer Polytechnic Institute está empeñado en retacar nano tubos de carbono con proteínas, para después incorporarlos a materiales y así hacerlos “sanar por sí mismos”.<sup>56</sup> Por ejemplo, se puede incorporar nano tubos retacados con proteínas al plástico, para conformar un ala de avión. Si el ala se daña y los nano tubos se quiebran, las proteínas liberadas podrían actuar como adhesivo y reparar el daño.
- En la Universidad de Cornell, Carlo Montemagno construyó una compleja máquina nanométrica con motor biológico (Montemagno está ahora en la Universidad de Los Angeles, en el departamento de ingeniería mecánica y aero espacial). Montemagno y su equipo de colaboradores extrajeron un motor rotativo proteínico de una célula bacteriana y la conectaron a una “nano propela” —un cilindro metálico de 750 nm de largo por 150 nm de ancho. Allegándose la energía proveniente del trifosfato de adenosina de la bacteria (la fuente química de energía en las células, conocida como ATP, por sus siglas en inglés), este motor bio molecular consiguió hacer girar la propela nano-

*Ahora, la cuestión no es si es posible producir dispositivos híbridos entre lo vivo y lo inerte sino cuál es la mejor estrategia para acelerar su desarrollo*

CARLO D. MONTEMAGNO<sup>52</sup>



Átomo y Eva

- métrica a una velocidad promedio de 8 revoluciones por segundo.<sup>57</sup> El equipo de Montemagno anunció a fines de octubre de 2002 que, añadiendo un grupo químico al motor proteínico, habían podido prender y apagar la nano máquina, a voluntad.<sup>58</sup>
- Un químico de New York University considera la posibilidad de utilizar la capacidad de auto ensamblaje del ADN para crear circuitos. La bio electrónica puede abrir un camino hacia la creación de computadoras ultra pequeñas y ultra rápidas.<sup>59</sup>
  - El lema de NanoFrames, una compañía auto denominada “biotecnológica”, con sede en Boston, es *aprovechar la naturaleza para transformar la materia*. Un lema así es también una descripción concisa de cómo funciona el proceso *Bio-nano I*. NanoFrames utiliza “sub unidades” de proteína (derivadas de los filamentos de la cola de un virus llamado Bacteriófago T4) para que sirvan como bloques de construcción”. Estas sub unidades se unen unas con otras, o con otros materiales, mediante auto ensamblaje, produciendo estructuras mayores. Según lo explica el sitio electrónico de la compañía ([www.nanoframes.com](http://www.nanoframes.com)), el diseño de las sub unidades determina la estructura final y no requiere la manipulación adicional de moléculas individuales. NanoFrames llama a su método de manufactura “carpintería bio mimética”, pero dicho término, pese a ser sorprendentemente figurativo, se queda corto. Usar proteínas a modo de ladrillos, y aprovechar su capacidad de auto ensamblaje, es más que meramente imitar el ámbito biológico (*mimesis* es una palabra griega que significa imitación). Es algo más que voltear hacia la biología para inspirarnos: es transformar la biología en una fuerza de trabajo industrial.

**MATRIMONIOS POR COMPATIBILIDAD (Bio-nano II):** Para la gente en general, es más familiar fusionar los ámbitos de lo vivo y lo inerte en otra dirección —es decir, incorporar materia inerte a organismos vivos con el fin de que ejecuten funciones biológicas (por ejemplo los marca-pasos, los miembros artificiales), pero presenta desafíos particulares en la escala nanométrica. Un desarrollo importante en la convergencia de nuevas tecnologías es la integración de la nanotecnología y la biotecnología, lo que se conoce ahora como **nano biotecnología**. El equipo de Rice University denomina este ámbito nanoescalar la interfase “húmedo/seco”, donde “húmedo” se refiere al sistema biológico y “seco” a los nano materiales.<sup>60</sup> Puede decirse, *grosso modo*, que una quinta parte (21 por ciento) de los negocios nanotecnológicos en Estados Unidos se abocan a la interfase húmedo/seco, pues desarrollan productos farmacéuticos nanoescalares, sistemas para suministrar medicamentos y otros productos relacionados con la salud.<sup>61</sup> Debido a que, en la mayoría de los casos, los nano materiales son ajenos a la biología, deben ser manipulados para tornarlos bio compatibles, para hacerlos que se comporten adecuadamente en su nuevo entorno.

**LO NANO, OLÍMPICO (Bio-nano II):** El investigador Robert Freitas ha estado desarrollando un glóbulo rojo capaz de distribuir 236 veces más oxígeno a los tejidos que un glóbulo rojo natural.<sup>62</sup> Este glóbulo artificial, llamado “respirocito”, mide una micra de diámetro y lleva a bordo una nano computadora que puede reprogramarse a control remoto mediante señales acústicas externas. Freitas predice que su dispositivo podrá usarse en el tratamiento de la anemia y los desórdenes pulmonares, pero además podrá refinar el desempeño humano en las áreas que demanden gran desempeño físico: por ejemplo el deporte y el combate. Freitas afirma que la efectividad de los glóbulos artificiales dependerá en gran medida de su “confiabilidad mecánica al confrontar desafíos ambientales poco comunes” y, por supuesto, de su bio compatibilidad. Entre los riesgos, considerados ocasionales pero reales, Freitas anota el sobre calentamiento, la explosión y la “pérdida de integridad física”.

**ADN A CONTROL REMOTO (Bio-nano II):** Los investigadores de MIT, dirigidos por el físico Joseph Jacobson y el ingeniero en bio medicina Shuguang Zhang, han desarrollado una forma de controlar la conducta de moléculas individuales al interior de una multitud de éstas.<sup>63</sup> El equipo procedió trabándole nano partículas de oro (de 1.4 nm de diámetro) a ciertas hebras de ADN. Cuando el ADN chapeado en oro es expuesto a un campo magnético, las hebras se separan: cuando el campo magnético es retirado, las hebras se reagrupan de inmediato: los investigadores han logrado, efectivamente, un interruptor que les permitirá activar o desactivar genes. El propósito es acelerar el desarrollo de drogas, lo que permite a los investigadores en fármacos simular los efectos de ciertas drogas que también activan o desactivan genes. El laboratorio de MIT, acaba de obtener la licencia de la tecnología necesaria para operar este adelanto bio técnico, el *engeneOS*, cuyo fin es “evolucionar de la detección y la manipulación *in vitro* al monitoreo y la manipulación, a escala molecular, de células *in vivo*”.<sup>64</sup> En otras palabras, se trata de sacar estos bio dispositivos del tubo de ensayo e introducirlos a los cuerpos vivientes.

**UNA SUPER COLISIÓN DE TECNOLOGÍAS:** Cuando converjan las tecnologías nanoescales, los cambios en la vida como la vivimos serán dramáticos y personales. En diciembre de 2001, dos agencias del gobierno estadounidense copatrocinaron un taller titulado Tecnologías Convergentes para Mejorar el Desempeño Humano. La colaboración entre la principal instancia científica y “la voz de los negocios en el gobierno” —la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Comercio (DOC)— tuvo por resultado, no es una sorpresa, un plan de comercialización para estas nuevas tecnologías. Los participantes al taller —del gobierno, la academia y el sector privado— buscaban formas en que las tecnologías convergentes —específicamente la nanotecnología, la biotecnología, la informática y las ciencias cognitivas (convergencia cuya sigla —NBIC— es ya de uso frecuente) pudieran “mejorar” las capacidades físicas y cognitivas de los humanos, a nivel individual y colectivamente. En otras palabras, la cuestión más importante durante el taller, según uno de los participantes, fue cómo las tecnologías convergentes “podían hacernos más sanos, más ricos y más inteligentes”.<sup>65</sup> La respuesta a tal cuestión se sopesa en más de 400 páginas. Sin embargo, bajo un barniz de análisis crítico y unas cuantas llamadas de atención, el grueso del texto repite una y otra y otra vez los beneficios de esta “mejora del desempeño”. La NBIC nos hará más listos (pues nos permitirá acceder y almacenar más información en nuestros cerebros mediante el desarrollo de la inteligencia artificial), más jóvenes (al frenar o revertir el proceso de envejecimiento), más sanos y, por supuesto, más esbeltos (controlando nuestro metabolismo). El informe de NSF/DOC recomienda entonces “una prioridad nacional en investigación y desarrollo de las tecnologías convergentes que mejoren el desempeño humano”, incluido el “Proyecto Cognoma Humano”, un esfuerzo multi disciplinario por entender la estructura, las funciones y el mejoramiento potencial de la mente humana.

Unos cuantos de los participantes insistieron en que se debía incluir a las ciencias sociales en una nano-bio-info-cogno-socio convergencia, pero en general la gente coincidió en que las ciencias sociales deberían operar al servicio de la NBIC.<sup>66</sup> Gerold Yonas y Jessica Glick Turnley, por ejemplo, propusieron una “socio tecnología”, la cual consideran una ciencia “predictiva” de la conducta en sociedad.<sup>67</sup> Así, mediante la “acumulación, manipulación e integración de datos provenientes de las ciencias sociales, conductuales y de la vida”, la socio tecnología será capaz de “identificar los motivos de un amplio espectro de sucesos socialmente perturbadores y nos permitirá emprender estrategias para mitigarlos o evitarlos en los sitios donde ocurren, antes de que ocurran”.<sup>68</sup> Los autores consideran la socio tecnología como una poderosa arma en la guerra contra el terrorismo. En otro ejemplo, James Canton, director en jefe de una firma consultora de alta tecnología, con sede en California, reconoce que “diferentes culturas defi-

## ¿Quién dará color a tu mundo?

### La teoría de la plaga gris: EL APRENDIZ DEL BRUJO

Los robots mecánicos, auto replicables e invisibles, se multiplican incontrolablemente hasta que su hambre de materia prima (los elementos de la naturaleza) y de energía, consumen al mundo.

### La teoría de las plagas azul/gris: UN MUNDO FELIZ

Las super máquinas evolucionan para manejar complejos sistemas humanos y ambientales y (eventualmente) toman control del mundo o caen en manos de las élites corporativas que las usan para dominarnos despiadadamente.

### La teoría de la plaga verde: LOS JUGUETES SOMOS NOSOTROS

Los científicos combinan organismos biológicos y máquinas mecánicas para usos industriales. Los organismos continúan haciendo lo que dicta su naturaleza —procrean— pero se han vuelto mucho más poderosos por el impulso de la tecnología humana: el bacteriófago, envalentonado, se torna omnívoro.

nirán el desempeño humano basándose en sus valores sociales y políticos”. Pero en la hebra de este reconocimiento, afirma: “corresponde a nuestra nación definir estos valores y mapear el futuro del desempeño humano”.<sup>69</sup>

Gregor Wolbring, un bio químico de la Universidad de Calgary, y fundador del Centro de Bioética, Cultura y Discapacidad, nos ofrece una de las pocas perspectivas críticas contenidas en el informe de más de 400 páginas, que hemos citado.<sup>70</sup> Su contribución expresa explícitamente que el desempeño humano no puede ser visto únicamente desde un punto de vista médico o tecnológico. Su alegato busca una perspectiva más amplia, de modo que podamos entender que los conceptos de “mejoramiento”, refinamiento o “realce”, progreso, discapacidad o enfermedad, son construcciones sociales y como tal, es el “progreso” tecnológico lo que debe examinarse críticamente en cuanto a su relevancia y pertinencia.<sup>71</sup>

Las recomendaciones hechas en el informe mencionado, que buscan una iniciativa que impulse investigación y desarrollo en la convergencia de tecnologías para el mejoramiento del desempeño humano, prometen beneficios que rayan en lo bíblico: “invidentes que podrán ver... tullidos que caminarán, parejas infértiles que serán capaces de procrear”.<sup>72</sup> Tal vez el aspecto más perturbador es la promesa de un futuro donde toda diferencia será borrada —diferencias en lenguaje, intelecto, imaginación, edad, características físicas, y todo otro rasgo calificado de “perturbador”. Esta sería una erosión en los derechos humanos incluidos los derechos de quienes no fueran “mejorados” —sea por decisión propia o sin ella. Sería también una erosión del disenso democrático. ¿Será un imperativo social este “mejoramiento” físico producido por las nuevas tecnologías? ¿Será este “mejoramiento propio” algo que se fuerce, por ley, a realizarse?<sup>73</sup>

El borrador del informe del gobierno estadounidense representa entonces una visión inquietante del rango, poder y persuasión de las tecnologías convergentes. Nos deja helados esa ansia del gobierno, los científicos y el sector privado por inflar la tecnología atómica sabiendo que la aceptación del público es la clave para recibir más financiamientos para su trabajo. Los participantes hicieron continua referencia a productos que cambiarán y elevarán el nivel de vida de los consumidores —cosas que van de lo frívolo a lo fantástico.

Se nos dice que las tecnologías convergentes pueden ofrecer “una vida activa y digna para gente ya entrada en su segundo siglo de vida”, pero también computadoras que uno se puede poner y que podrían disfrazarse de “joyería cintilante”, cosméticos que cambian según el humor de los usuarios y “ropa inteligente” que se ajusta al ambiente social del portador.<sup>74</sup> Parecería que los entusiastas de la tecnología atómica tratan desesperadamente de no repetir el fiasco industrial de la biotecnología, como ocurriera hace diez años. Al no poder producir ningún artículo genéticamente modificado que le trajera beneficios al consumidor, la biotecnología agrícola sufre hoy una falta de aceptación y confianza entre los consumidores. En su empeño por moldear la opinión pública y ganarse la aceptación de los consumidores, el Informe NSF/DOC es la evidencia de un riesgoso ejercicio de las relaciones públicas y la comercialización, con tal de hacer avanzar la convergencia tecnológica.



**CUÁLES SON LOS RIESGOS: Materia nueva** Cuando el *paso tres* (la manufactura molecular) —en cualquier forma que asuma— se combine con el *paso cuatro* (lo nano, biónico), la tecnología atómica creará híbridos vivos y no vivos, desconocidos en la Tierra. Las implicaciones ambientales de tales creaciones nuevas —que podrían afectar buena parte de lo que existe en el universo— son todavía incomprensibles.

**Viva lo ex vivo** Las máquinas nanométricas creadas por los humanos, y cuya energía se extrae de las células vivas, son una realidad: ya existen. No tardará mucho en que más y más partes funcionales de la célula sean reclutadas para ponerlas al servicio de estas nano máquinas creadas por humanos. Conforme se hace más común la fusión entre lo nano-vivo, y lo nano-inerte, la idea de máquinas nanométricas que se auto repliquen parece menos el “sueño desmedido de algún futurista”. Al refutar la posibilidad de la manufactura molecular (ver *paso tres*), George Whitesides dijo que “sería un logro asombroso que pudiéramos imitar la célula viva más simple”. Pero quizá no tengamos que “reinventar la rueda”: son ya factibles las creaciones auto replicables hechas por humanos; lo único que tenemos que hacer es pedir las prestadas. Whitesides considera que la amenaza más grande no es la *plaga gris*, sino las “reacciones auto catalíticas”, es decir, aquellas reacciones químicas que al acelerarse ocurren por cuenta propia, sin el impulso de un químico en su laboratorio.<sup>75</sup> Es aquí —cuando las nano máquinas naturales se fusionen con las nano máquinas mecánicas— donde resuena más fuerte la advertencia de Whitesides.

**Seis grados de humanidad** ¿Pueden las sociedades que aún no alcanzan a entender por qué existen los soldados humanos, proseguir en la construcción de cyborgs parcialmente humanos, semi humanos o super humanos?

**Asesinos por naturaleza** Conforme se desarrolle la fusión entre las células vivas y las nano máquinas de fabricación humana, se tornará más sofisticado el armamento biológico y químico. Estos híbridos bio mecánicos se harán más invasivos, más difíciles de detectar y virtualmente imposibles de combatir.

## Evaluación ETC

Para quienes no aceptan el riesgo de la *plaga gris* planteada por Drexler, existe también el siniestro asunto de “Un Mundo Feliz, Gris”, implícito en la capacidad ilimitada de máquinas super inteligentes que nos vigilen a nombre de una élite gobernante que se convierta en una suerte de Gran Hermano Cyborg para todos nosotros. El poder de lo nano+info+cogno es exponencial y entraña una amenaza muy importante para la democracia y el disenso.

Pero existe otra preocupación adicional. Quizá no debemos temer una *plaga gris* sino una *plaga verde*. Tal vez lo que ocurra no implique la manufactura de maquinaria auto replicable que imite la replicación que la materia viva hace de sí misma, sino que comencemos a controlar la materia viva y la pongamos a funcionar como maquinaria. Esto ya ocurre en el nivel de los micro organismos, pero podría ocurrir también en formas de vida más sofisticadas. Por ejemplo, los militares están encontrando que es mucho más fácil emprender la modificación de insectos con el fin de usarlos para objetivos militares o industriales que tratar de crear máquinas voladoras mecánicas de dimensiones similares. Al final la *revolución de la plaga verde* —el asalto a la vida con fines industriales— puede ser el riesgo más importante.

## CLAVES HISTÓRICAS I |<sup>76</sup>

### El despliegue de la vida: logros del barro

**Elementos, querido Watson:** Según algunas leyendas, Dios sopló sobre el barro y Adán respiró por vez primera. Moisés bajó de la montaña con dos tablillas de barro en las que estaban grabados los códigos que algunos podrían llamar el Libro de la Vida. Ahora resulta que dichas historias están más cerca de la realidad de lo que suponíamos. El barro puede contener la fórmula para crear vida... —aunque tal vez no sepamos cómo vivirla.

En 1953, Watson y Crick identificaron la doble hélice del ADN y Stanley Miller lanzó la ciencia a una exploración de los orígenes de la vida. Mientras trabajaba en la Universidad de Chicago, Miller intentó crear vida a partir de materia inanimada preparando un caldo primordial que imitara los ambientes y océanos de la Tierra. Replicó tormentas eléctricas disparando bastantes voltios sobre el caldo. A los pocos días, el caldo de Miller había producido más de doce aminoácidos, incluidos seis de los veinte que son clave en el armado de las proteínas.

El trabajo de Miller se benefició mucho de una hipótesis desarrollada por Alexander Cairns-Smith, mediante la cual el químico escocés concluyó que la “vida” surgió de ciertas irregularidades nanoescalares de la celosía cristalina de los minerales del barro. Esto habría creado la primera información genética y la oportunidad de mu-

taciones conforme capas de cristales con irregularidades semejantes se depositaban en el barro original. Esta teoría de los orígenes de la vida sigue vigente. En fechas recientes, los investigadores del Instituto Weizmann, en Israel, usaron minerales del barro para desarrollar aminoácidos y una sustancia que, a fin de cuentas, contenía la estructura química de una proteína.

Una variación modesta en el asunto del barro fue diseñada por un abogado de patentes alemán, Günter Wächtershäuser (a partir de una tradición atómica iniciada por otro examinador de patentes, un tal Albert Einstein). Las nano partículas de piritita —formadas por compuestos de azufre y hierro— desprendían la energía necesaria para crear macromoléculas que ya se encaminaban hacia lo que se considera organismos vivos.

Gracias al trabajo de Cairns-Smith, Miller y Wächtershäuser, muchos científicos piensan ahora que será posible construir “vida” si se procede átomo por átomo a partir de materia inorgánica. Es más, la “vida” podría surgir no sólo del carbono sino de una variedad de elementos o compuestos incluida la piritita (“el oro de los tontos”) o sulfuro de hierro. Al enunciar esta tesis en torno a los minerales del barro, Cairns-Smith cita a Sherlock Holmes, burlándose de los orígenes de la vida... “Extraño, Watson [¿y Crick?] —muy extraño.”<sup>77</sup>

## Notas

- <sup>1</sup> Gareth Cook, “No Assembly Required for These Tiny Machines”, *Boston Globe*, 16 de octubre, 2001.
- <sup>2</sup> Valerie Thompson, “Veeco Came, Saw, Acquired Majority of AFM Market”, *Small Times*, 8 de octubre de 2001.
- <sup>3</sup> Según los comentarios de Scott Mize, presentados en la Foresight Conference, con el título “Oportunidades comerciales de la nanotecnología, a corto plazo” [Near-Term Commercial Opportunities in Nanotechnology], 10 de octubre de 2002
- <sup>4</sup> *Ibid.*
- <sup>5</sup> *Ibid.*
- <sup>6</sup> Business Wire, Inc., “Altair Nanotechnologies Awarded Patent for its Nano-sized Titanium Dioxide”, 4 de septiembre de 2002. Esta estimación se basa en los estudios de mercados de Business Communications Co., Inc.
- <sup>7</sup> *Forbes/Wolfe Nanotech 101 Report*, 2002, p. 3. Publicación conjunta de Forbes Inc. & Angstrom Publishing LLC, [www.forbesnanotech.com](http://www.forbesnanotech.com)
- <sup>8</sup> Según los comentarios de Scott Mize, presentados en la Foresight Conference, con el título “Oportunidades comerciales de la nanotecnología, a corto plazo” [Near-Term Commercial Opportunities in Nanotechnology], 10 de octubre de 2002.
- <sup>9</sup> John Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford University Press, p. 93.
- <sup>10</sup> Alexandra Stikeman, “Nanobiotech Makes the Diagnosis”, *Technology Review*, mayo de 2002, pp. 60-66.
- <sup>11</sup> *Ibid.*, p. 63.
- <sup>12</sup> Candace Stuart, “Nanotube Industry Means Business”, *Small Times*, *julio/agosto de 2002*, vol. 2, núm 4, p. 32.
- <sup>13</sup> David Rotman, “The Nanotube Computer”, *Technology Review*, marzo de 2002, pp. 36-45.
- <sup>14</sup> Ray H. Baughman, Anvar A. Zakhidov, Walt A. de Heer, “Carbon Nanotubes: The Route Toward Applications”, *Science*, 2 de agosto de 2002, vol. 297, pp. 787-792 (disponible por suscripción, [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)).
- <sup>15</sup> Candace Stuart, “Nanotube Industry Means Business”, p. 36.
- <sup>16</sup> CMP Científica, “Nanotechnology Opportunity Report”, marzo de 2002; Eric Pfeiffer, “Nanotech Reality Check: New Report Tries to Cut Hype, Keep Numbers real”, *Small Times*, 11 de marzo, 2002; disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com/document\\_display.cfm?document\\_id=323](http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=323)
- <sup>17</sup> Candace Stuart, “Nanotube Industry Means Business”, p. 36.
- <sup>18</sup> Miwako Waga, “Japanese Companies Getting Ready to Churn Out Nanotubes by the Ton”, *Small Times*, 13 de marzo de 2002; disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com/document\\_display.cfm?\\_id=3258](http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?_id=3258)
- <sup>19</sup> Candace Stuart, “Nanotube Industry Means Business”, p. 36.
- <sup>20</sup> Los científicos de Rice University sostuvieron su propia conferencia sobre el tema en diciembre de 2001, titulada “La nanotecnología y el ambiente: un examen de los beneficios y peligros potenciales de una tecnología emergente” [Nanotechnology and the Environment: An Examination of the Potential Benefits and Perils of an Emerging Technology].
- <sup>21</sup> Doug Brown, “Nano Litterbugs? Experts See Potential Pollution Problem”, *Small Times*, 15 de marzo de 2002; disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>22</sup> Barbara Karn, citada por Doug Brown en su artículo “Us Regulators Want to Know Whether Nanotech can Pollute”, *Small Times*, 8 de marzo de 2002; disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>23</sup> Mark Wiesner, citado por Doug Brown en “Nano Litterbugs? Experts See Potential Pollution Problem”.
- <sup>24</sup> Comunicación personal con el doctor Mark Wiesner, 18 de junio de 2002.
- <sup>25</sup> Patente estadounidense número 6 368 569 expedida el 9 de abril de 2002 y patente estadounidense número 6 331 262 expedida el 18 de diciembre de 2001.
- <sup>26</sup> Andrzej Huczko *et al.*, *Fullerene Nanotubes and Carbon Nanostructures* (antes *Fullerene Science and Technology*), volumen 9 (2), 2001, pp. 251-254.
- <sup>27</sup> Jessica Gorman, “Taming High-Tech Particles: Cautious Steps into the Nanotech Future”, *Science News Online*, 30 de marzo de 2002; disponible en la red electrónica: [www.sciencenews.org/20020330/bob8.asp](http://www.sciencenews.org/20020330/bob8.asp)
- <sup>28</sup> George Whitesides y J. Christopher Love, “The Art of Building Small”, *Scientific American*, septiembre, 2001, p. 47.

- <sup>29</sup> Charles Lieber, citado por David Rotman, “The Nanotube Computer”, *Technology Review*, marzo de 2002, p. 38.
- <sup>30</sup> David Rotman, “The Nanotube Computer”, p. 38.
- <sup>31</sup> Disponible en la red electrónica: [www.zyvex.com/nanotech/feynman.html](http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html)
- <sup>32</sup> K. Eric Drexler *et al.*, “Many Future Nanomachines: A Rebuttal to Whiteside’s Assertion that Mechanical Molecular Assemblers Are Not Workable and Not A Concern”, Institute for Molecular Manufacturing, 2001; disponible en la red electrónica: [www.imm.org/SciAmDebate2/whitesides.html](http://www.imm.org/SciAmDebate2/whitesides.html)
- <sup>33</sup> Anónimo, “Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom”, pp.5-6. Disponible en la red electrónica: [itri.loyola.edu/nano/twgn.Public.Brochure/](http://itri.loyola.edu/nano/twgn.Public.Brochure/)
- <sup>34</sup> David Cameron, “Walking Small”, *Technology Review*, primero de marzo de 2002; disponible en la red electrónica: [www.technologyreview.com](http://www.technologyreview.com). Ver también Sylvain Martel *et al.*, “Development of a Miniature Three-Legged Bio-Instrumented Autonomous Robot”; disponible en la red electrónica: [bioinstrumentation.mit.edu/fpga/NanoWalker-Hangzhou2000.pdf](http://bioinstrumentation.mit.edu/fpga/NanoWalker-Hangzhou2000.pdf).
- <sup>35</sup> K. Eric Drexler, *Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution*, Quill William Morrow, 1991, p. 98.
- <sup>36</sup> Michael Gross, *Travels to the Nanoworld: Miniature Machinery in Nature and Technology*, Nueva York y Londres, Plenum Trade, 1999, p. 207.
- <sup>37</sup> Según Drexler, la diferencia entre un sistema de ensambladores y un replicador estriba por completo en cómo se programa un ensamblador.
- <sup>38</sup> Kevin Bonsor, “How Nanotechnology Will Work”, [www.howstuffworks.com/Nanotechnology1.htm](http://www.howstuffworks.com/Nanotechnology1.htm)
- <sup>39</sup> Richard E. Smalley, “Of Chemistry, Love and Nanobots”, *Scientific American*, septiembre de 2001, p. 77.
- <sup>40</sup> George Whitesides, “The Once and Future Nanomachine”, *Scientific American*, septiembre de 2001, p. 81.
- <sup>41</sup> El texto en la red electrónica está disponible en: [www.imm.org/SciAmDebate2/smalley.html](http://www.imm.org/SciAmDebate2/smalley.html) y [www.imm.org/SciAmDebate2/whitesides.html](http://www.imm.org/SciAmDebate2/whitesides.html)
- <sup>42</sup> K. Eric Drexler, *Unbounding the Future*, p. 200.
- <sup>43</sup> G. Whitesides, “The Once and Future Nanomachine”, p. 83.
- <sup>44</sup> Bennett Daviss, “Out of Thin Air”, *New Scientist*, vol. 171, núm 2306, primero de septiembre de 2001, p. 32. Ver también el boletín de prensa del Georgia Tech, “Waves of the Future: Tech Team Examines Sound as a New Tool for Space Construction”, 4 de mayo de 2001; disponible en la red electrónica: [www.gatech.edu/news-room/archive/news\\_releases/acoustic.html](http://www.gatech.edu/news-room/archive/news_releases/acoustic.html)
- <sup>45</sup> K. Eric Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, publicado originalmente por Anchor Books, 1986, a partir del PDF disponible en la red electrónica: [www.foresight.org](http://www.foresight.org). p. 216.
- <sup>46</sup> The Foresight Institute’s Guidelines for Nanotech Development están disponibles en la red electrónica: [www.foresight.org/guidelines/current.html](http://www.foresight.org/guidelines/current.html)
- <sup>47</sup> Peter Fairley, “Nanotech by the Numbers”, *Technology Review*, septiembre de 2002, pp. 47-52.
- <sup>48</sup> Douglas Mulhall, *Our Molecular Future*, Prometheus Books, 2002, p. 225.
- <sup>49</sup> Adrian Barry, ed., “The Explosions within Us”, *The Book of Scientific Anecdotes*, Prometheus Books, 1993, p. 208-209.
- <sup>50</sup> Mike Martin, “Lasers Power Nanomotors in Harvard-Weizmann Study”, 28 de mayo de 2002. Disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com/document\\_display.cfm?document\\_id=3849](http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=3849)
- <sup>51</sup> University of Wisconsin-Madison, *EPisode*, Department of Engineering Physics Newsletter, otoño-invierno 2001-02, [www.engr.wisc.edu/ep/newsletter/200102fallwinter/batteries.html](http://www.engr.wisc.edu/ep/newsletter/200102fallwinter/batteries.html)
- <sup>52</sup> Carlo Montemagno, “Nanomachines: A Roadmap for Realizing the Vision”, *Journal of Nanoparticle Research* 3, 2001, p. 3.
- <sup>53</sup> Véase la conferencia de Hawking, “Life in the Universe”, disponible en la red electrónica: [www.hawking.org.uk/lectures/life.html](http://www.hawking.org.uk/lectures/life.html)
- <sup>54</sup> Ver Alexandra Strikeman, “Nano Biomaterials: New Combinations Provide the Best of Both Worlds”, *Technology Review*, noviembre de 2002, p. 35.
- <sup>55</sup> [www.ruf.rice.edu/~cben/ProteinNanowires.shtml](http://www.ruf.rice.edu/~cben/ProteinNanowires.shtml)
- <sup>56</sup> Alexandra Strikeman, “Nano Biomaterials: New Combinations Provide the Best of Both Worlds”, p. 35.
- <sup>57</sup> George M Whitesides y J. Christopher Love, “The Art of Building Small”, p. 47. En el artículo aparecido en *Scientific American* se dice, incorrectamente, que la propela giraba a 8 veces por minuto. Ver Montemagno *et.al.*, “Powering and Inorganic Nanodevice with a Biomolecular Motor”, *Science*, volumen 290, 24, noviembre de 2000, pp. 1555-1557; disponible en la red electrónica: [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)
- <sup>58</sup> Phillip Ball, “Switch Turns Microscopic Motor

- On and Off”, *Nature* on-line science update, 30 de octubre de 2002; disponible en la red electrónica: [www.nature.com](http://www.nature.com)
- <sup>59</sup> Alexandra Strikeman, “Nano Biomaterials: New Combinations Provide the Best of Both Worlds”, p. 35.
- <sup>60</sup> Ver el sitio electrónico del CBEN de Rice University: [www.ruf.rice.edu/~cben/WetNano.shtml](http://www.ruf.rice.edu/~cben/WetNano.shtml)
- <sup>61</sup> The NanoBusiness Alliance, “2001 Business of Nanotechnology Survey”, p. 12.
- <sup>62</sup> Robert A. Freitas, “A Mechanical Artificial Red Cell: Exploratory Design in Medical Nanotechnology”; disponible en la red electrónica: [www.fore-sight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html](http://www.fore-sight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html)
- <sup>63</sup> Alexandra Stikeman, “Nanobiotech Makes the Diagnosis”, p. 66.
- <sup>64</sup> Ver [www.engeneos.com/comfocus/index.asp](http://www.engeneos.com/comfocus/index.asp), el sitio electrónico de *engeneOS*.
- <sup>65</sup> Gerold Yonas, según lo cita Jim Spohrer, “NBICS (Nano-Bio-Info-Cogno-Socio) Convergence to Improve Human Performance: Opportunities and Challenges”, p. 90. El informe de NFS-DOC está disponible como versión preliminar en la red electrónica: [www.itri.loyola.edu/Converging Technologies](http://www.itri.loyola.edu/Converging_Technologies)
- <sup>66</sup> Véase por ejemplo, la contribución de Sherry Turkle en el informe NSF/DOC, “Sociable Technologies: Enhancing Human Performance when the Computer is not a Tool but a Companion”, pp. 133-141. Turkle arguye que entender la psicología humana es esencial en el desarrollo de máquinas que puedan ser aceptables a nivel de lo social. Es más, arguye que las “tecnologías sociables” nos brindarán relaciones más satisfactorias con nuestras máquinas, pero además vitalizarán nuestras relaciones mutuas “pues para construir objetos más sociables deberemos aprender más de los que nos hace ser sociables los unos con los otros”, p. 139.
- <sup>67</sup> Gerold Yonas trabaja en Sandía National Laboratories, instalaciones operadas por uno de los contratistas de la industria de defensa, Lockheed Martin, bajo contrato con el Departamento de Energía de Estados Unidos. Sandía desarrolla tecnologías emergentes para promover seguridad a nivel nacional. Jessica Glicken Turnley es antropóloga y directora de Galisteo Consulting Group, Inc.
- <sup>68</sup> Jessica Glicken Turnley y Gerold Yonas, “Socio-Tech... The Predictive Science of Societal Behavior”, *Converging Technologies for Improving Human Performance*, junio de 2002, p. 140.
- <sup>69</sup> James Canton, Institute for Global Futures, “The Impact of Convergent Technologies and the Future of Business and the Economy”, *Converging Technologies for Improving Human performance*, junio de 2002, p. 68. Canton es el director general en su instituto.
- <sup>70</sup> Wolbring es miembro del Consejo Directivo del Grupo ETC.
- <sup>71</sup> Gregor Wolbring, “Science and Technology and the Triple D (Disease, Disability, Defect)”, *Converging Technologies for Improving Human Performance*, pp. 206-216.
- <sup>72</sup> James Canton “The Impact of Convergent Technologies and the Future of Business and the Economy”, *Converging Technologies for Improving Human performance*, junio de 2002, p. 68.
- <sup>73</sup> Según Gregor Wolbring, la definición de discapacidad está en proceso de cambio. Las regulaciones recientes de la Suprema Corte de Justicia estadounidense, por ejemplo, afirman que la ley para estadounidenses con discapacidades (ADA por sus siglas en inglés) no se aplica a aquellas personas que tienen “problemas” corregibles. Esto implica que una vez que estén “disponibles” las adaptaciones, deberán corregirse las “discapacidades” y entonces la protección de las leyes de derechos civiles, como la ADA, por ejemplo, no serán necesarias. Ver por ejemplo, *Sutton vs United Airlines* (130 F.3d 893, 119 S Ct. 2139), *Albertsons Inc. vs Kirkingburg* (143 F.3d 1228, 119 S. Ct. 2162), y *Murphy vs United parcel* (141 F.3d 1185, 119 S. Ct. 1331).
- <sup>74</sup> Mike Roco y ws Bainbridge, “Overview: Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science (NBIC)”, *Converging Technologies for Improving Human Performance*, p. 18.
- <sup>75</sup> George Whitesides, “The Once and Future Nanomachine”, p. 83.
- <sup>76</sup> La información de donde se extrajo este recuadro proviene del libro de Michael Gross, *Life on the Edge —Amazing Creatures Thriving in Extreme Environments*. Perseus Publishing, Cambridge, 1998. pp. 124-128, y de Adrian Barry ed., *The Book of Scientific Anecdotes*, Prometheus, Amherst, Nueva York, 1993, pp. 208-209.
- <sup>77</sup> Michael Gross, *Life on the Edge*, pp. 124-128.

# 3

¿Sabes?,

las cosas

van a ser

muy diferentes!...

No, de verdad,

¡muy, muy diferentes!

Mark Miller hablando con K. Eric Drexler  
a mediados de los ochenta<sup>1</sup>

## ¿Funcionarán las tecnologías atómicas?

### cuatro pruebas para una tecnología nueva

No se piense que fue la mención del término nanotecnología en dos de los recientes éxitos taquilleros de Hollywood (*Spiderman* y *Minority Report*) lo que nos hizo enderezarnos en la silla y prestar atención. El Grupo ETC determinó que era tiempo de tomar seriamente las tecnologías nanoescalares cuando evaluamos la ola contra cuatro variables: (1) el número de citas registradas en la literatura científica; (2) el número de patentes relacionadas con lo nanométrico sometidas a consideración; (3) las sumas de dinero que se invierten en investigación básica y (4) el rango y la reputación de las instituciones públicas y privadas que emprenden investigaciones. Toma tiempo reunir una masa crítica para que la ciencia produzca una tecnología viable que entre al mercado. Ahí les van los detalles...

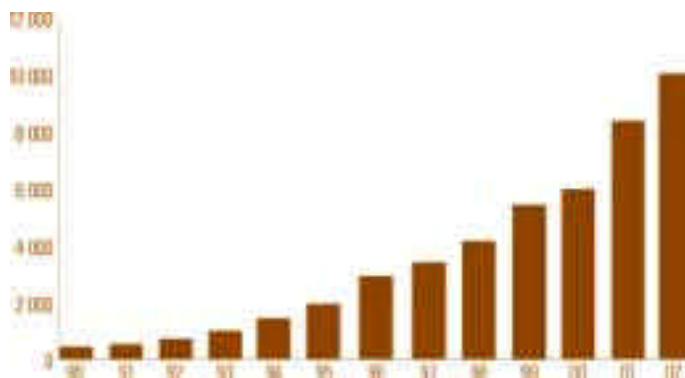
#### ¡MIRA QUIÉN HABLA: los nano aplicaditos –las cifras científicas

En la base de datos proporcionada por el *index* de citas ISI, se puede rastrear toda referencia a las palabras claves de las publicaciones científicas en inglés que fueron revisadas “por colegas” o “entre pares”. En 1987, la literatura científica incluyó 200 referencias “nano”. Para fines de 2001, había unas 7 700 citas “nano” en tal año. Tan sólo en los primeros seis meses de 2002 hubo más de 6 mil.<sup>2</sup>

Son igualmente importantes las referencias a la “nanotecnología” que han logrado cruzar la barrera de la prensa científica convencional hacia las publicaciones de ciencia popular o los medios que cubren el mundo de los negocios. En septiembre de 2001, por ejemplo, *Scientific American*, dedicó todo su número a la nanotecnología. En diciembre del mismo año, *Chemical and Engineering News* también incluyó la nanotecnología como su reportaje central. *USA Today*, o la sección *Gente*, de varios diarios, cuentan ahora con un reportero especializado en la materia. Virtualmente todos los números de *Technology Review* incluyen un avance o hallazgo en ciencia nanoescalar. Con más regularidad que antes, la prensa que cubre el mundo de los negocios se refiere a lo “nano” y en sus páginas centrales es común ver referencias a lo nano tecnológico.

Claramente existe una masa crítica de pensamiento e investigación científica que avanza. En años recientes, varios Premios Nobel le han sido otorgados a científicos cuyo trabajo se relaciona directamente con las tecnologías atómicas. La tabla siguiente reúne a los laureados con el Nobel en relación a lo nanométrico, tan sólo en los campos de la Física y la Química, desde 1990. Podrían rastrearse muchas otras conexiones relacionadas a lo nanoescalar que nos llevarían a los Nobel de Medicina, pero son mucho más difíciles de aislar y resaltar.

Citas referentes a la Ciencia Nanoescalar, 1990-2002



## Premios Nobel en Física y Química relacionados con nanotecnología (1990-2001)

Año y nombres	Lo obtuvieron	Institución
<b>FÍSICA</b>		
<b>2001</b> Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle, Carl E. Wieman	“Por el logro de la condensación Bose-Einstein al diluir gases de átomos alcalinos, y por los primeros estudios fundamentales de las propiedades de los condensados”; el nuevo “control” de la materia que implica esta tecnología podrá hacernos conseguir aplicaciones revolucionarias en campos tales como la medición precisa y la nanotecnología.	Cornell y Wieman trabajan en JILA, un instituto manejado en conjunto por la Universidad de Colorado y el NIST (National Institute of Standards and Technology, EU). Ketterle está en el Massachusetts Institute of Technology, EU).
<b>1998</b> Robert B. Laughlin, Horst L. Störmer, Daniel C. Tsui	“Por el descubrimiento de una nueva forma de fluido cuántico con excitaciones cargadas fraccionalmente”; lo que condujo a nuevos avances en nuestro entendimiento de la física cuántica.	Laughlin está en Stanford; Störmer en Columbia; Tsui, en Princeton (todas universidades estadounidenses).
<b>1997</b> Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji, William D. Phillips	“Por el desarrollo de métodos para enfriar y atrapar átomos con rayo laser.”	Chu está en Stanford (EU), Cohen Tannoudji en el Collège de France y en la École Normale Supérieure (Francia); Phillips en NIST (EU).
<b>1996</b> David M. Lee, Douglas D. Osheroff, Robert C. Richardson	“Por su descubrimiento de la superfluidez del helio-3.”	Lee y Richardson son profesores en el Departamento de Física en Cornell (EU). Osheroff trabajó 15 años en los Laboratorios Bell y da clases en Stanford (EU)
<b>QUÍMICA</b>		
<b>2000</b> Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid y Hideki Shirakawa	“Por el descubrimiento y desarrollo de polímeros conductores.”	Heeger está en la Universidad de California en Santa Bárbara (EU), MacDiarmid en la Universidad de Pennsylvania (EU); Shirakawa en la Universidad de Tsukuba (en Japón)
<b>1999</b> Ahmed H. Zewail	“Por sus estudios en los estados de transición de las reacciones químicas usando espectroscopía de femtosegundos.”	Zewail está en el California Institute of Technology (en Pasadena, EU).
<b>1998</b> Walter John y John A. Pople	Kohn, “por el desarrollo de su teoría funcional de la densidad” y Pople “por desarrollar métodos computacionales en química cuántica”.	Kohn está en la Universidad de California-Santa Bárbara (EU); Pople en Northwestern University (EU).
<b>1996</b> Robert F. Curl Jr., Harold W. Kroto y Richard Smalley	“Por su descubrimiento de los fullerenos.”	Curl y Smalley pertenecen a Rice University (EU); Kroto trabaja en la Universidad de Sussex (Reino Unido). Smalley fundó Carbon Nanotechnologies, Inc., que produce nano tubos de carbono de una sola pared.
<b>1991</b> Richard R. Ernst	“Por sus contribuciones al desarrollo de la metodología de la espectroscopía por resonancia magnética nuclear de alta resolución (NMR, por sus siglas en inglés).”	Ernst dirigió el laboratorio de físico-química del ETH Zurich y se retiró en 1998.

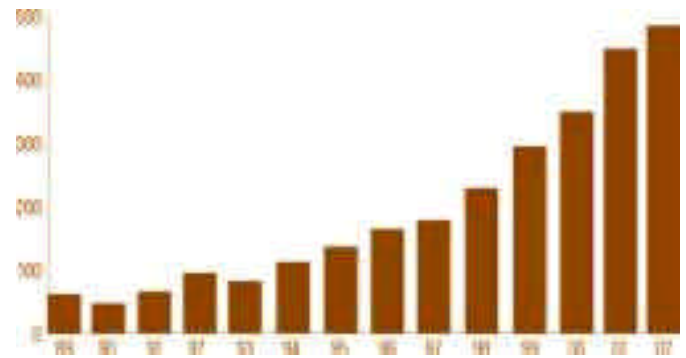


## MIRA QUIÉN PATENTA: nano-pescadores y nano-promotores

### —las corporaciones multinacionales y las compañías de innovación nanométrica

A finales de la década de los ochenta, había unas 60 patentes que hacían referencia a lo “nano” en sus solicitudes. Al cerrar 2001, se habían concedido cerca de 445 patentes durante el año, y se espera que el número de patentes relacionadas exceda ese nivel en las cifras de 2002.<sup>5</sup> Mientras que la industria biotecnológica tuvo que remontar un sinnúmero de prohibiciones legislativas (por ejemplo aquella de que la materia viva no era patentable) para asegurarse la propiedad intelectual de organismos y sus partes componentes, las tecnologías atómicas enfrentan bastantes menos restricciones, otorgándole a los magnates de la materia un margen mucho mayor que a los ingenieros genéticos.

No es sólo que el número de patentes haya aumentado sino *quién* está presentando las solicitudes. Entre las compañías incluidas están muchas de las 500 firmas del “Quién es quién” de *Fortune*. Los campus universitarios más prestigiosos del mundo están en el asunto. Los emprendedores y sus compañías, que abren la brecha para lo nanométrico, no están solas en el área; los grandes gigantes industriales ya desarrollan habilidades en tecnologías atómicas al interior de sus plantas —y no se mantienen al margen como lo hicieran con la biotecnología cuando ésta apareció en el horizonte. Es interesante, pero no sorprendente, que entre los que más agresivamente están solicitando patentes relacionadas con nanotecnología se encuentren el ejército y la armada de Estados Unidos.



## MIRA QUIÉN PAGA: nano nadies y nano compadres

### —los contribuyentes y el padrino público a la investigación

Los pioneros en nuevas tecnologías, a nivel universal, se consideran ignorados y devalorados. Las boutiques de la biotecnología de los setenta se quejaban amargamente del desinterés del mercado impulsado por el capital de riesgo.

También se quejan las compañías promotoras de la tecnología atómica. Sin embargo, es impresionante el flujo de capitales involucrados en investigación básica y nuevos productos. En 2001, el gasto global empleado para impulsar la industria en cuestión (de corporaciones y gobierno) fue de aproximadamente 4 mil millones de dólares.<sup>6</sup> Que exista una expansión así en el gasto invertido en investigación básica durante una recesión, es un testimonio nada modesto del potencial de esta tecnología.

En su intento por remontar el modelo de la biotecnología, la tecnología atómica se ha montado en los contribuyentes (los “nano-nadies” y en los organismos públicos de investigación (los “nano compadres”). Y, como siempre, las ganancias irán a parar a los emprendedores de la élite académica y a los gigantes industriales que en fechas recientes están absorbiendo a las empresas de innovación más prometedoras.

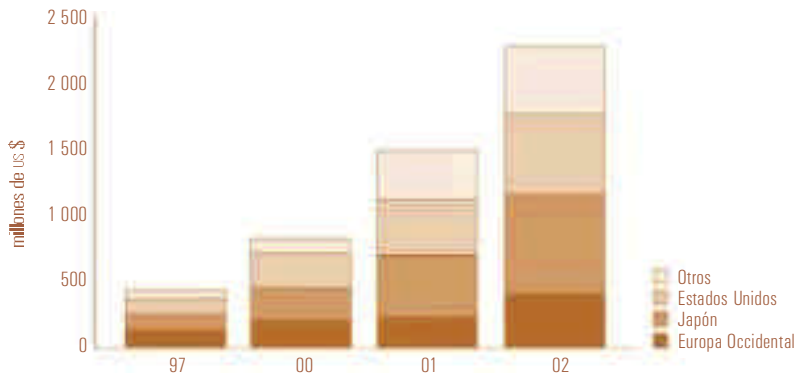
El gasto en la investigación en ciencia nanométrica desafía las leyes económicas de la gravedad. Incluso, en un momento en que la economía global gira hacia la recesión, Japón y Estados Unidos corren cabeza con cabeza intentando ganarle al otro en los montos invertidos, a nivel público, para financiar sus investigaciones. La Unión Europea va detrás, pero está decidida a emparejarse.

Los científicos de lo nanométrico en Estados Unidos comienzan a ser considerados “vanidosos” por el compromiso federal en torno a las nanotecnologías.<sup>7</sup> El gasto del gobierno estadounidense en la materia sumó 463 millones en 2001; rebasó los 600 millones en 2002, se espera que llegue a 710 millones de dólares en 2003.<sup>8</sup> En 2002, el gasto del gobierno japonés fue superior al de Estados Unidos, y la Unión Europea se situó en un cercano tercer lugar. Los gastos gubernamentales globales en 2001 excedieron los mil millones de dólares

Patentes relacionadas con lo nanométrico en Estados Unidos, 1989-2002

*La nanotecnología es la última frontera del constructor.*

RICHARD SMALLEY,  
Premio Nobel en Química, 1996<sup>3</sup>



#### Inversiones gubernamentales globales

Otros incluye Australia, Canadá, China, Europa Oriental, FSU, Israel, Corea, Singapur, Taiwán.

Fuente: MC Roco, [www.nano.gov/intpersp\\_roco.htm](http://www.nano.gov/intpersp_roco.htm)

y duplicaron en 2002, llegando a casi 2 500 millones de dólares.<sup>9</sup> (Ver la tabla siguiente, donde se encuentran las inversiones en lo nanométrico, de varios países, por separado.)

El interés mostrado por el capital de riesgo es, más allá del interés gubernamental, un indicador clave del potencial comercial de la nanotecnología. Las inversiones provenientes de capital de riesgo en Estados Unidos crecieron de unos modestos 100 millones de dólares anuales a 780 millones en 2001, y estarán “al alza” en 2003, al llegar a los 1 200 millones.<sup>10</sup> Este es un estimado de la industria posterior al 11 de septiembre de 2002.

Además de los fondos de los capitales de riesgo y gubernamentales, la tercera gran fuente de dinero para investigación proviene de las actividades “internas” de las empresas multinacionales. Compañías tan variadas como Xerox, To-

yota, DuPont, Siemens AG, General Electric, BASF, y Hewlett-Packard, parecen estar invirtiendo fuerte en nanotecnología, pero son renuentes a mostrar sus niveles de gasto. Según algunas estimaciones, los 500 de *Fortune* pueden estar igualando lo invertido por el gobierno y el capital de riesgo combinados.

¿Serán suficientes 4 mil millones de dólares anuales invertidos en investigación y desarrollo para disparar una nueva revolución industrial? En comparación con la cifra anterior, los militares estadounidenses gastan unos 1 200 millones al año en desarrollar vehículos aéreos no tripulados (UAVs, por sus siglas en inglés). Pero los UAVs se encuentran más allá de las fases iniciales de investigación e incluso se les usó extensivamente en Afganistán. La tecnología atómica se encuentra en el mismo estadio en que se hallaba la biotecnología en los setenta, o donde estaban los semi conductores a fines de los sesenta. Incluso tomando en cuenta la inflación a lo largo de unas décadas, 4 mil millones de dólares en investigación básica son algo impresionante.

#### ¡MIRA LO QUE (YA) OCURRE: nano expendios —de la investigación a los ingresos

El cuarto indicador de que la tecnología atómica es “real” es que son obvios sus avances y cuenta ya con productos tangibles. En contraste marcado con los primeros tiempos de la biotecnología (e incluso hoy), la tecnología atómica cuenta con productos en el mercado y los nano empresarios innovadores venden ya sus existencias. De acuerdo con CMP Científica, hay unas quinientas “compañías nano tecnológicas” distribuidas, de manera pareja, por toda América del Norte, Asia y Europa. Un poco más del diez por ciento de tales compañías están en el negocio de producir nano tubos y fibras, y casi un tercio vende los instrumentos (por ejemplo microscopios de fuerza atómica) que harán posible el desarrollo de su tecnología.<sup>11</sup> Fuentes de la industria calculan que las tecnologías de lo pequeño (incluidos los sistemas micro electro mecánicos o SMEMS [MEMS, por sus siglas en inglés]) venden cerca de 45 500 millones de dólares en bienes y servicios y que, para 2005, los ingresos alcanzarán los 225 500 millones de dólares.<sup>12</sup> La Fundación Nacional de la Ciencia de Estados Unidos predice que para 2010 o por ahí, las ventas de procesos o materiales nano estructurados ascenderán a los 340 mil millones de dólares; los ingresos de la electrónica y la informática serán de unos 600 mil millones de dólares, y las ventas de aplicaciones farmacéuticas ascenderán a los 180 mil millones de dólares para 2015,<sup>13</sup> considerando que la mitad de la producción farmacéutica dependerá de la nanotecnología. Se espera que las ventas anuales globales relacionadas con la nanotecnología excedan el billón de dólares para 2015. En ese momento, las tecnologías atómicas serán el factor dominante en la electrónica (de computadoras a telecomunicaciones), en la farmacéutica, la energía y la manufactura de materiales.

*La nanotecnología es la forma de controlar ingeniosamente la construcción de estructuras pequeñas y grandes, con intrincadas propiedades; es la forma del futuro, una forma precisa de construir con control, e incidentalmente incluirle al diseño una benignidad ambiental.*

RONALD HOFFMAN,  
Premio Nobel de Química, 1981<sup>4</sup>

En 1995, la revista *Wired* entrevistó a algunos de los principales científicos estadounidenses y les pidió que especularan acerca del progreso de la tecnología atómica en los años venideros.<sup>14</sup> Aunque algunas interpretaciones puedan diferir, parecería que la tecnología está excediendo las expectativas más promisorias. Para 2000, se emitieron en Estados Unidos más de dos docenas de patentes relacionadas con ensambladores moleculares, por ejemplo, y muchos investigadores piensan ahora que se acerca el momento en que sea factible la reparación celular usando tecnología atómica. Sin embargo hay una categoría en que se está quedando atrás todo lo relacionado con la ciencia nanométrica: la mayoría de los expertos consultados creían que en 2000 habría leyes que regularían, en Estados Unidos, la nanotecnología.

Las compañías de innovación han encontrado bajos costos y pocas barreras para la introducción comercial de nano polvos y materiales. De igual manera, el potencial de las herramientas nanoescalares en electrónica es tan vasto que ningún sector de la industria puede ignorar el campo que se abre. Toyota usa ya compuestos nanométricos para fortalecer los plásticos usados en las partes automotrices. Los nano polvos resultan de utilidad en los recubrimientos, vidrios y lentes con protección contra los rayos UV.

En 1987 el Grupo ETC (entonces RAFI) y la Fundación Dag Hammarskjöld fungieron como anfitriones del primer seminario mundial de la sociedad civil sobre los impactos sociales y económicos de la biotecnología. La reunión internacional se llevó a cabo en Bogève, Francia, y reunió a activistas de todo el continente. Para todos los participantes, fue su primera inmersión seria en lo que es la biotecnología. Para la mayoría, fue un encuentro impactante, y llevó mucho tiempo darnos cuenta que hablar de especies transgénicas no era sólo exaltación vacua. En 2001, la Fundación Dag Hammarskjöld y el Grupo ETC se unieron de nuevo para propiciar el primer seminario mundial de la sociedad civil en torno a las tecnologías atómicas. El seminario se llevó a cabo en las oficinas de la fundación, en Uppsala, Suecia, y atrajo de nuevo a los activistas políticos y ambientales más prominentes del mundo. “Bogève II”, como le llamaron informalmente los organizadores, impactó mucho más a la mayoría de los participantes que Bogève I, catorce años antes. Sin embargo, dado que muchos de los presentes contaban con una larga historia debatiendo la biotecnología, pudieron reponerse pronto. La tabla siguiente compara el desarrollo de la biotecnología y la tecnología atómica, antes y después de Bogève I y Bogève II.

## Evaluación ETC

Para 2005 la tecnología atómica atraerá más interés (y controversia) que la biotecnología. Para 2010, las tecnologías atómicas serán el factor determinante de lo considerado lucrativo en casi todos los sectores de las economías industriales. Para 2015, quienes controlen la tecnología atómica serán la fuerza dominante en la economía mundial.

### Anuncios realizados por los tecnólogos más prominentes en 1995

Hitos	Hall	Smalley	Birge	Drexler	Brenner
Nano regulaciones	1995	2000	1998	2015	2036
Comercialización	2005	2000	2002	2015	2000
Ensambladoras moleculares	2010	2000	2005	2015	2025
Reparación celular	2050	2010	2030	2018	2035
Nano computadora	2010	2100	2040	2017	2040

Fuente: *Wired*, agosto de 1995

**La tecnología atómica y la biotecnología "Aquí, eso no va a pasar... ¿de nuevo?"****BIOTECNOLOGÍAS BOGÈVE I (1987)****TECNOLOGÍAS ATÓMICAS BOGÈVE II (2001)****Ciencia ficción:** *No funcionar fuera del laboratorio. Ingenier a de ese tipo desaf a las leyes naturales*

En los ochenta, los científicos convencionales en agricultura y medicina expresaban con frecuencia sus reticencias diciendo que la ingeniería genética no podría competir con la infinita complejidad de la naturaleza; que lo que funciona en el laboratorio fallaría en la vida real. Tal vez tengan razón... pero hoy se plantan 55 millones de hectáreas con cultivos genéticamente modificados, y proliferan los bio medicamentos (o fármacos genéticamente modificados).

Algunos científicos creen que manipular la Tabla Periódica no será suficiente para contradecir las teorías de la energía y las aún desconocidas leyes naturales. Pero los átomos son la siguiente "declinación" a partir de los genes. La tecnología atómica puede no ser segura, puede no funcionar bien, pero se comercializará. No es necesaria su perfección para que entre al mercado. Como deja claro la primera generación de productos genéticamente modificados, un fracaso científico puede significar éxito en los negocios.

**Progreso ponderable:** *Rebasamos a todas las generaciones. Y apenas estamos empezando*

En los ochenta, la mayoría de los científicos pensaba que los productos biotecnológicos se hallaban muy lejos. Estos científicos juzgaron erróneamente el progreso en la computación y en otras tecnologías que posibilitaron recortes brutales en los costos y que aceleraron, a escala masiva, la investigación y el desarrollo.

Hacer ingeniería de maquinaria o la comida producida, átomo por átomo, parecen distantes ahora, pero el ensamblaje molecular continúa logrando avances en informática y en otras tecnologías que posibilitarán la existencia en el mercado de productos creados mediante tecnología atómica, mucho más pronto de lo que se predijo.

**La exaltación:** *Es propaganda de Wall Street. Las compañías, desesperadas, intentan convencer a los posibles inversionistas de que los nuevos productos están a la vuelta de la esquina y de que resolverán todos los problemas mundiales*

En los ochenta, las "boutiques" biotecnológicas luchaban por sobrevivir y prometían "miel sobre hojuelas". Muchas sucumbieron y el resto es adquirido, todavía hoy, por los Gigantes Genéticos. Después de un lento arranque, entran al torrente nuevos productos (buenos y malos). El mundo, sin embargo, no parece estar más cerca del Nirvana.

Los nichos de mercado para innovaciones nanométricas surgen hoy como antes lo hicieron las bio boutiques. Hay en torno a ellas la misma exaltación: son "la bala de plata". Sin embargo, a diferencia de la biotecnología, las grandes corporaciones las están acogiendo desde la planta baja del edificio.

**Nichos de Mercado:** *Pueden funcionar muy bien en algunos casos especiales, pero no tendrán un impacto amplio sobre nuestra manera de producir cosas*

Un Gigante Genético argumentaba en los ochenta que la tolerancia a herbicidas podría ser viable para combatir el pasto Johnson en Texas. Hoy, tres cuartas partes del área transgénica global se dedica a las variedades tolerantes a herbicidas. Las compañías de genómica humana con un nicho en el mercado mapean los genomas de muchos cultivos. Una de las características de la biotecnología es su amplia aplicación en agricultura, farmacéutica, artículos de cuidado personal y manufactura industrial.

Algunos arguyen que la tecnología atómica es una novedad; que sólo se usará con propósitos muy específicos, debido a su costo y complejidad. De hecho, el alcance de la tecnología atómica es mucho más vasto, con mucho, que el de la biotecnología. Conforme se aclare el rango de compañías involucradas, la tecnología atómica dominará todos los aspectos de la economía global.

**Nano-expedios:** *Son muy pequeñas y frágiles. No tienen el encanto requerido por la ciencia ni por el mercado*

En los ochenta, las "boutiques" biotecnológicas eran pequeñas, escasas y sobrevivían a duras penas. Los enormes gigantes agroquímicos y farmacéuticos parecían no estar interesados y muchos predecían que las pequeñas empresas de innovación se irían a la bancarrota, haciendo de su tecnología un fiasco.

Los nichos de mercado de lo nanológico son hoy también pequeños, frágiles y luchan por sobrevivir. La diferencia es que las 500 corporaciones citadas por *Fortune*, los "hano pescadores", buscan afanosamente insertarse en los rumbos de la nueva tecnología.

**Patentes y registros:** *Los gobiernos no proporcionan las patentes requeridas ni hay flexibilidad regulatoria.*

Las lograron. Para fines de los ochenta la Oficina de Patentes de Estados Unidos anunció que permitiría la patente de plantas y animales, así como de micro organismos. Las regulaciones de la USDA, la NIH y la FDA se manipularon para ajustarse a los requerimientos de la industria.

Las lograrán. La tecnología atómica tiene menos barreras para sus patentes. La biotecnología ya fijó los precedentes legales que permiten una avalancha de solicitudes. Las restricciones regulatorias al "poder atómico" serán manipuladas hasta hacerlas ineficaces.

## Notas

- <sup>1</sup> Según lo cita Ed Regis en *Nano, the Emerging Science of Nanotechnology: Remaking the World —Molecule by Molecule*, 1955, p. 133.
- <sup>2</sup> Esta búsqueda de citas se basa en el índice de citas del Instituto de Información Científica (Institute for Scientific Information, ISI), usando la palabra *nano* como término de búsqueda en los títulos. La cifra de 2002 se extrapola del número de citas contadas hasta septiembre de 2002.
- <sup>3</sup> Citado en “Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom”, p.1. Disponible en la red electrónica: [www.nano.gov](http://www.nano.gov)
- <sup>4</sup> *Ibid*, p. 4.
- <sup>5</sup> El número de patentes relacionadas con lo nanométrico se basa en la investigación conducida por Delphion usando “nano” como término de búsqueda. La cifra del 2002 se extrapola del número de patentes emitidas a mediados de año.
- <sup>6</sup> Eric Pfeiffer, “Nanotech Reality Check: New Report Tries to Cut Hype, keep Numbers real”, *Small Times*, 11 de marzo, 2002; disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com/print\\_doc.cfm?doc\\_id=3237](http://www.smalltimes.com/print_doc.cfm?doc_id=3237)
- <sup>7</sup> Doug Brown, “Nano for the Nation: Mihail Roco”, *Small Times*, vol, 2, núm 4, julio/agosto, 2002, p. 16.
- <sup>8</sup> Mike Roco, “Research and Development FY 2003: National Nanotechnology Investment: the FY 2003 Budget research by the President”, disponible en la red electrónica: [www.nano.gov/2003budget.html](http://www.nano.gov/2003budget.html)
- <sup>9</sup> Ann Thayer, “Nanotech Meets Market Realities”, *Chemical & Engineering News*, 22 de julio, 2002, p. 18.
- <sup>10</sup> NanoBusiness Alliance, “2001 Business of Nanotechnology Survey”, p. 4. Disponible en la red electrónica: [www.nanobusiness.org](http://www.nanobusiness.org)
- <sup>11</sup> CMP Científica, “Nanotechnology Opportunity Report”, según lo reporta Eric Pfeiffer en “Nanotech reality Check: New Report Tries to Cut Hype, Keep Numbers Real”, *Small Times*, 11 de marzo de 2002; disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com/print\\_doc.cfm?doc\\_id=3237](http://www.smalltimes.com/print_doc.cfm?doc_id=3237)
- <sup>12</sup> NanoBusiness Alliance, “2001 Business of Nanotechnology Survey”, p. 4.
- <sup>13</sup> Mike Roco y ws Bainbridge, editores, “Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology”, National Science Foundation, marzo de 2001, pp. 3-4.
- <sup>14</sup> David Pescovitz, “Reality Check —“The Future of Nanotechnology”, *Wired*, agosto de 1995.

[La nanotecnología]  
tiene la respuesta,  
hasta donde hay respuesta,  
para la mayoría  
de nuestras más apremiantes  
necesidades en energía,  
salud, comunicación, transporte,  
comida, agua, etcétera

Richard Smalley  
*profesor de Rice University y Premio Nobel<sup>1</sup>*

## ¿A quién y dónde impactará?

a los pobres y la economía, por supuesto

No es fácil intentar una evaluación de los impactos del salto a *la inmensidad de lo mínimo* debido a que el espectro de los nuevos nombres y las nuevas aproximaciones tecnológicas es muy vasto. Básandonos en un estudio de NanoBusiness Alliance (NBA —un grupo de comercio recientemente fundado en Estados Unidos), podemos afirmar que el mercado actual para las tecnologías de lo pequeño anda alrededor de los 45 500 millones de dólares. El mercado dará un salto a los 700 mil millones para el 2008 y excederá el billón de dólares bastante antes de 2015.<sup>2</sup>

Sin embargo, en una revisión del futuro económico de las nuevas tecnologías, publicada a fines de 2001 en *The Economist*, los editores reportaron una encuesta que se aplicó a los lectores familiarizados con el mundo de los negocios. Según estos lectores, el siguiente gran impulso tecnológico vendrá, probablemente, del sector de la información (22%). Otro 20% le apostaba a la biotecnología.

La nanotecnología, las ciencias de materiales y las tecnologías del transporte, obtuvieron cada una otro 5%, pero el tercer gran porcentaje representa a quienes sienten que la siguiente revolución industrial será resultado de la convergencia de nuevas tecnologías.<sup>3</sup>

Por otra parte, puede uno imaginar los impactos más probables de las nuevas tecnologías atendiendo a cada uno de los sectores de la economía más importantes. Sobra decir que los primeros en sentir los impactos serán los trabajadores de cada uno de estos sectores incluidos aquellos cuyas habilidades ya no serán requeridas (y no nos referimos a los científicos galardonados con el premio Nobel).<sup>5</sup>

*Son tres, aunque tengo la sensación de que se volverán una sola, cuando las unifique alguna teoría futura.*

*La primera es, por supuesto,*

*la tecnología de la información...*

*La segunda es la biotecnología...*

*y la tercera es la nanotecnología.<sup>4</sup>*

ROBERT SHAPIRO,

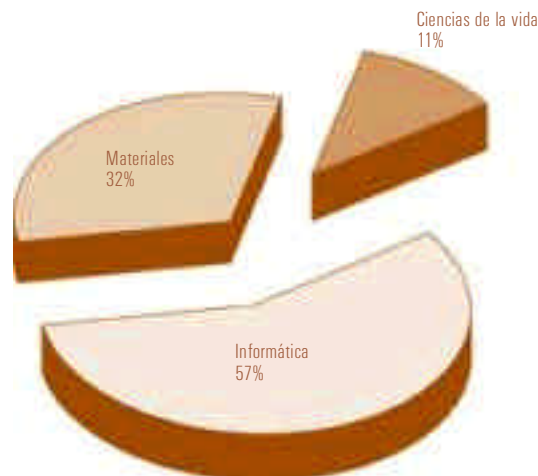
*entonces presidente*

*y director general de Monsanto,*

*ante la pregunta de cuáles creía que eran*

*las tecnologías futuras más promisorias*

Las tecnologías del billón de dólares  
El mercado de la tecnología atómica en 2010



*Es cierto que no puede uno patentar un elemento hallado en su forma natural, sin embargo, si uno crea una forma purificada de éste, que tenga usos industriales —digamos el neón—, claro que podrás quedarte con la patente.*

LILA FEISEE

directora de Relaciones Gubernamentales  
y Propiedad Intelectual

Organización de la Industria de la Biotecnología,  
11 de abril de 2001

## NANOPOLIOS

Hace veinte años, nadie nos habría creído si los hubiéramos alertado (y vaya si lo hicimos) de que las compañías biotecnológicas harían ilegal que un agricultor sembrara; que demandarían a los cultivadores que usaran semillas patentadas que volaran sobre su propiedad; que no sólo podrían patentarse variedades de plantas sino genes individuales y PSN —o SNP por sus siglas en inglés— (polimorfismos de un solo nucleótido); que especies completas e incluso cadenas celulares humanas podrían monopolizarse; que los saberes tradicionales de la gente se volverían propiedad privada de algún gigante farmacéutico.

*¿Será posible algún día patentar un elemento de la misma forma en que las corporaciones patentan genes actualmente?*, ¿que lo único que se requiera para poseer un elemento sea aislarlo y purificarlo? Al Premio Nobel Glenn Seaborg se le concedió la patente del *americio* y del *curio* —dos de los once elementos que descubriera hace medio siglo. Seaborg “creó” también el elemento 110, que no recibe aún nombre propio (en castellano le nombran *madveded* [Mv] y en inglés le dicen *ununnilium* [Uun]). En 1999, los físicos nucleares del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (en Estados Unidos) estrellaron partículas de criptón sobre plomo y anunciaron que habían descubierto dos nuevos elementos: los números 118 y 116. (Se supo después que el elemento 118 se basaba en datos falsificados.)<sup>6</sup> Pero los científicos creen que con el tiempo se descubrirán nuevos elementos en la naturaleza. ¿Serán patentables dichos elementos?

*¿Y qué tal que se patentan los procesos necesarios para usar un elemento?* ¿Será posible modificar un elemento y luego patentar el proceso y el producto? ¿Habrá patentes de procesos que impidan la manufactura convencional porque los procesos comunes compremetan el nuevo monopolio? ¿Serán los cyborgs algunos de estos nuevos inventos patentables? En 2001, por ejemplo, los investigadores del Laboratorio Nacional Brookhaven, en Estados Unidos, echaron a andar su Colisionador Relativista de Iones Pesados y estallaron una antigua partícula sub atómica conocida como “plasma quark-gluón”. Este colisionador estadounidense, junto con contrapartes en otros países, es parte de un proceso para crear materia nueva. ¿Serán todas estas invenciones, patentables?

O, como se hizo con la energía nuclear, ¿insistirán quienes controlan la tecnología atómica en que sus instrumentos son tan potentes y tan fundamentales que deben operar con un monopolio estatuido por el Estado, apelando a razones de seguridad nacional?

## LA TECNOLOGÍA ATÓMICA NO SE DETENDRÁ EN LA NANO ESCALA

*Qué tan diminuto pueden llegar* La palabra *átomo* proviene del griego y significa indivisible, o completo, y hasta finales del siglo XIX se pensaba que los átomos eran indivisibles —los componentes más pequeños de la materia. Ahora los investigadores saben que un átomo está formado de cientos de partículas más pequeñas, incluidos los sospechosos comunes que recordamos desde la química del bachillerato —los protones, los neutrones y los electrones. La estructura de un átomo semeja una maraña de electrones en cuyo centro se sitúa una configuración densamente compacta de protones y neutrones (el núcleo). El número de protones en el núcleo determina a cual elemento químico pertenece dicho átomo. Las partículas atómicas más familiares se acompañan de partículas menos conocidas denominadas quarks y leptones (el electrón es una especie de leptón) y un conglomerado de otras partículas llamadas partículas portadoras de fuerza (con nombres tan extraños como gluón, gravitón y Z Boson).<sup>7</sup> Los quarks, que conducen una carga eléctrica fraccionaria (recuerden su clase de química: los protones llevan carga +1, los electrones -1 y los neutrones ¿no tienen carga?) y son diez mil veces



más pequeños que el núcleo del átomo. No sabemos con precisión qué tan pequeños son los quarks, pero con seguridad están en un rango menor a  $10^{-18}$  metros (un nanómetro es  $10^{-9}$  metros). Los investigadores piensan que los quarks son *literalmente* atómicos —lo que significa que son partículas indivisibles, sin particiones— pero pudiera ocurrir que los quarks estuvieran hechos de partículas aún más pequeñas. Hacer un mapa del ámbito sub atómico en su totalidad será tan útil para los científicos nucleares como para los químicos fue mapear el mundo atómico (por ejemplo la Tabla Periódica). Como fue el caso de las tecnologías de nivel atómico, la primera etapa es manipular el cosmos sub atómico para ser capaces de verlo con claridad.

**Qué tan rápido pueden ir** El microscopio de barrido, que nos permite “ver” en el nivel nanométrico, no es lo suficientemente potente como para revelar lo que ocurre en el núcleo de un átomo. Para echar un vistazo en dicha dimensión, los físicos nucleares necesitan un sondeo más fino. Lo único que se ajusta a la medida es otra partícula sub atómica. Haciendo uso de cámaras muy sofisticadas tecnológicamente, llamadas aceleradores, lo cual describe muy bien su función (en algunos casos, son del tamaño de poblados grandes), los científicos son capaces de acelerar partículas sub atómicas a velocidades cercanas a la de la luz, mediante el uso de campos electromagnéticos. Una vez que una partícula alcanza dicha velocidad, se le impacta contra la partícula que deseamos contemplar, funcionando como un sondeo. A la colisión lograda se le conoce como “evento” y sus detalles son registrados por los llamados “detectores”. Las computadoras reúnen y organizan la vasta cantidad de datos registrados por los detectores y presentan los resultados al físico. Además de usar aceleradores para aumentar la velocidad de las partículas y así sondear aquellas que son nuestro objetivo, los científicos pueden acelerar las partículas e impactarlas unas con otras (a estas cámaras de aceleración se les llama colisionadores). La energía creada por estas colisiones entran a formar parte de nuevas partículas masivas cuyas propiedades pueden estudiarse. Usando aceleradores, los científicos han identificado docenas de elementos (algunos de los cuales son virtualmente inexistentes fuera de los reactores nucleares y los laboratorios de investigación).

**Por qué emprenden el salto** Una definición proporcionada por el Departamento de Energía estadounidense nos dice que la investigación en física nuclear intenta comprender las fuerzas y las partículas fundamentales de la Naturaleza según se manifiestan en la materia nuclear.<sup>8</sup> Pero entender el acomodo sub atómico del universo no es una empresa puramente académica o cosmológica. La energía nuclear, las armas nucleares y la medicina nuclear (incluidos los agentes radioactivos usados en la imagenología) dependen de nuestra capacidad de controlar cuidadosamente (un énfasis en *cuidadosamente*), en mayor o en menor medida, los trabajos del núcleo atómico. Con un entendimiento más preciso del ámbito sub atómico, pueden desarrollarse en tandem nuevas tecnologías sub atómicas, que expandan las posibilidad de crear más productos que afecten nuestra salud o el ambiente, en forma dramática, para bien o para mal.

---

## MANUFACTURA Y MATERIALES

Los artículos nanoescalares producidos a granel ya producen ganancias. Las nano partículas se usan en la fabricación de pinturas y otros recubrimientos, más durables o resistentes, en la producción de filtros solares más protectores y de catalizadores más eficientes. Los estudios muestran que un solo gramo de partículas catalizadoras, de 10 nanómetros de diámetro, es casi 100 veces más reactivo que la misma cantidad de partículas catalizadoras que midan una micra de diámetro. El cambio se atribuye únicamente al aumento en el área superficial, propio de la nano materia.<sup>9</sup> Los procesos nanoescalares —muchos de ellos implicados en la catálisis— están transformando la industria



¿Los ladrones de la última arca?

La carrera por monopolizar los elementos de la Naturaleza

global de los plásticos, la cual se valúa en unos 600 mil millones por año, tan sólo en Estados Unidos.

Empresas gigantescas como Dow Chemical y Exxon Mobil otorgan licencias para algunas variantes de los “metalocenos” —un método nanoescalar para crear catalizadores aplicados a la fabricación de plásticos. Los productos finales son más ligeros, más resistentes y sorprendentemente más versátiles. Exxon Mobil tiene unas 200 patentes de metalocenos.<sup>10</sup> Dow ha trabajado también en la escala atómica para concebir los “inter polímeros” (el desarrollo de su procesado ya dio por resultado unas 50 patentes en Estados Unidos y Europa —por combinaciones nunca vistas de la materia con propiedades comerciales únicas).<sup>11</sup>

En un futuro muy cercano, la tecnología atómica podrá proporcionarnos algunos de los siguientes productos:

- Telas “inteligentes” que varíen su capacidad para deflectar o absorber calor.
- Recubrimientos super resistentes, para vehículos, que reduzcan las roturas y el astillado en las colisiones.
- Blindajes anti balas ligeros, para usarse en las ropas de policías, civiles y militares.
- Exteriores, libres de mantenimiento, en edificios; vidrios y plásticos irrompibles.
- Superficies de construcción que “respiran”, admitiendo y emitiendo el flujo del aire.
- Superficies de vestido y construcción que pueden cambiar de color en respuesta a las variaciones ambientales.
- Con el advenimiento de “láminas” de gran tamaño, la fabricación de nano materia permitirá “texturas” especiales en los cascos de embarcaciones, aeronaves y naves espaciales.

## ELECTRÓNICA, ENERGÍA E INFORMÁTICA

Se espera que las estructuras nanoescalares jueguen un papel enorme en el almacenamiento de información y energía —dos elementos cruciales en casi todos los productos o procesos basados en la electricidad.

La tecnología nanométrica es ya responsable del elemento clave en la fabricación de discos duros de computadora. Además, los nano tubos han demostrado funcionar como transistores diminutos.<sup>12</sup> A fines de agosto de 2001, los investigadores de IBM crearon un circuito capaz de ejecutar cálculos lógicos simples mediante un nano tubo de carbono auto ensamblado. Esto se anuncia como el primer paso hacia las computadoras nanométricas.<sup>13</sup> En mayo de 2002, IBM informó que había creado transistores nano tubulares que sobrepasaban incluso a los modelos más avanzados de los dispositivos de silicio, y sobrepasaban también a los nano tubos diseñados con anterioridad, por tener más capacidad para conducir corrientes eléctricas.<sup>14</sup> Los prototipos de los chips nano tubulares de las futuras computadoras saldrán de los laboratorios de IBM en un par de años.<sup>15</sup> En suma, las potencialidades incluyen:

- *La capacidad de almacenamiento de datos y la velocidad de procesamiento* aumentarán dramáticamente y serán procesos mucho más baratos y eficientes en cuanto a la energía. En junio de 2002, los nano tecnólogos de IBM demostraron una densidad de almacenamiento de datos de un billón de bits por pulgada cuadrada, equivalente a un disco duro de 100 gigabytes, o 20 veces los datos almacenados magnéticamente en las computadoras actuales —suficientes para almacenar 25 millones de páginas impresas de libros de texto sobre una superficie igual a la de un timbre postal.

Según Gerd Binnig, uno de los expertos de IBM y Premio Nobel, “esta aproxima-

ción nano mecánica es potencialmente válida para un incremento de mil veces la densidad de almacenamiento de datos”.<sup>16</sup>

- *Bio sensores y chips* que podrían llegar a ser ubicuos en la vida cotidiana —al monitorear cada uno de los aspectos de la economía y la sociedad. Por ejemplo, Nanomix Inc. diseña sensores a base de nano tubos para detectar peligrosas fugas de gas en las plantas químicas y las refinerías.<sup>17</sup> La compañía afirma que cada sensor costará diez veces menos que los detectores de gas convencionales y operarán durante un año con pilas de reloj.
- *Una dependencia mucho menor de los combustibles fósiles, de la potencia hidro eléctrica y de sus infraestructuras relacionadas.* Se desarrollan también novedosos nano materiales para almacenar combustible de hidrógeno, por ejemplo, innovación que podría aumentar dramáticamente la eficiencia y decrementar el costo de los automóviles con celdas de combustible.<sup>18</sup>

## FÁRMACOS Y CUIDADO DE LA SALUD

Según algunos entusiastas, el cielo es el límite.<sup>19</sup> (“De verdad, vamos a curar el cáncer...”) El impacto se sentirá en los dispositivos médicos y en la cirugía (dos tercios de la investigación) y en los fármacos (un tercio). En diez años, la mitad de las entradas de la industria (unos 180 mil millones de dólares por año) tendrán que ver con la tecnología atómica. Las aplicaciones incluyen:

- Secuenciaciones de genoma más veloces mediante chips nanométricos.
- Una caracterización precisa del diseño genético de un individuo.
- Nuevos métodos de administración de medicamentos dirigiéndolos a tejidos u órganos específicos.
- Nuevos vectores en terapia genética.
- Acceso quirúrgico a sitios del cuerpo previamente inaccesibles.
- Órganos y tejidos artificiales más durables y resistentes al rechazo.
- Biomateriales más ligeros e “inteligentes” para los miembros del cuerpo.
- Sistemas de bio sensores que permitirán detectar una enfermedad emergente en etapas mucho más tempranas.

## APLICACIONES MILITARES

La investigación en torno a las aplicaciones que la tecnología atómica puede tener para lo militar es un negocio floreciente. El Departamento de Defensa de Estados Unidos es el segundo beneficiado más grande de los fondos que el gobierno estadounidense destina a la investigación científica nanométrica (después de la National Science Foundation). A la luz de los ataques terroristas y el aumento en el interés del armamento derivado de los avances tecnológicos, crece el compromiso con la investigación en tecnología atómica que derive aplicaciones militares. En 2003, el presupuesto estadounidense asigna 201 millones al gasto del Departamento de Defensa en ciencias nanométricas —en 2002 fueron 180 millones de dólares. Esta sección describe tan sólo algunos ejemplos de investigación desclasificada en armamento potenciado mediante tecnología atómica.

En marzo de 2002, el ejército estadounidense creó el Instituto de Nanotecnologías del Combatiente (Institute for Soldier Nanotechnologies, ISN) con un fondo de 50 millones de dólares durante cinco años, en el Instituto Tecnológico de Massachussets (Massachusetts Institute of Technology, MIT).<sup>21</sup> Trabajando en conjunción con su socio en la industria armamentista, Raytheon, entre otros, el Instituto investiga el uso de la tecnología atómica para mejorar la sobrevivencia y protección del combatiente.<sup>22</sup> Uno de sus primeros objetivos es refinar el desempeño del soldado en lo individual. Los guerreros nano equipados del futuro tendrían la capacidad de brincar por encima de muros de más de siete metros (calzados con botas que tienen paquetes potenciados inter construidos),



*Imaginen el impacto psicológico sobre un enemigo que se tope con escuadrones de guerreros que parecen invencibles, protegidos por armaduras y dotados de capacidades sobrehumanas, tales como brincar bardas de 7 metros.*

NED THOMAS  
director del Instituto  
de Nanotecnologías del Combatiente,  
del Ejército de Estados Unidos<sup>20</sup>

combatir utilizando miembros artificiales mucho más fuertes que los músculos humanos, llevar uniformes que los tornan invisibles e invencibles y contar con la posibilidad de prestar primeros auxilios automatizados a una orden específica. Al utilizar la ciencia nanométrica, el Instituto busca como objetivo inmediato reducir el peso que un soldado totalmente equipado tiene que cargar; hoy es de unos 65 kilos, pero se pretende reducir a 20 kilogramos. Inspirados en los caballeros medievales, el Instituto desarrolla una “cota de malla molecular”, no más pesada que el papel. Otras aplicaciones militares incluyen:<sup>23</sup>

- Nano recubrimientos plásticos a prueba de rayaduras para los visores de los cascos y la ventanería de los aviones de propulsión.<sup>24</sup>
- El desarrollo de un “exo esqueleto”, una armadura que no sólo es a prueba de balas sino que se transforma en un molde médico rígido para aliviar un brazo o pierna rotos, o que sirve como “ante brazo-guante de karate” que puede usarse como arma ofensiva.
- Nano camuflaje: uniformes semejantes al camaleón, manufacturados con nano materiales que tornan virtualmente invisible al soldado en el campo de batalla.
- Materiales nano diseñados para mejorar el desempeño de las máscaras anti gases.
- “Persianas venecianas” de escala molecular, diseñadas para proteger los ojos del combatiente del rayo laser cegador.
- Sensores miniaturizados para la detección en campo de agentes biológicos/químicos/explosivos.
- El uso de dispositivos nano activados para contar con disponibilidad ilimitada de energía/potencia en el campo de batalla.
- El objetivo de más largo plazo de desarrollar sistemas no tripulados con movilidad, control y alerta propia, derivados de los sistemas biológicos vivos.
- Los investigadores de la Universidad de Michigan exploran medidas para contrarrestar la guerra biológica evitando que algún agente patógeno entre al cuerpo humano. La investigación busca desarrollar nano materiales a base de compuestos que sirvan como “barreras de evasión de patógenos” y agentes terapéuticos ulteriores a la exposición que puedan aplicarse tópicamente a la piel y las mucosas.<sup>25</sup>

Estos ejemplos, rayan apenas la superficie de las aplicaciones militares de la tecnología atómica.

El uso potencial y la proliferación de bio sensores y tecnologías que refinan el desempeño humano tendrán profundas consecuencias para los derechos humanos y el disenso democrático. (Ver apartado “Una super colisión de tecnologías”, al final de la Sección Dos, y el comunicado del Grupo ETC, “La nueva agenda genómica”, septiembre/octubre, 2001, [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org))

---

## AGRICULTURA

Los detectores nano fabricados ofrecen potencial para ejecutar miles de experimentos en plantas con el fin de caracterizar y seleccionar simultáneamente genes, a partir de cantidades muy pequeñas de material.<sup>26</sup> Se han desarrollado nano chips que tienen varios miles de puntos nanométricos, cada uno de los cuales contiene una pequeña cantidad de genes diferentes en una planta dada y son capaces de determinar la cantidad de dicho gene expresada por la planta. Cuando la expresión genética de decenas de miles de genes se prueba y luego se compara, los científicos pueden determinar cuáles genes se activan o se inhiben durante el proceso de crecimiento o durante alguna enfermedad.

En conjunción con los nano chips, la perspectiva de tener a la mano secuencias genómicas completas, nos brindará información que revele cuáles genes determinan una producción mejor o qué genes son afectados cuando una planta es expuesta a la presión del salitre o la sequía. Los nano chips permitirán caracterizar por completo un gene,

molécula por molécula, en unas cuantas horas. Hace menos de diez años, este mismo análisis habría ocupado a docenas de científicos durante años.

En el largo plazo (2020-2050), la ingeniería atómica podrá:

- Eliminar la “geografía” (foto sensibilidad, temperatura, altitud) y el trabajo como factores que inciden en la producción de cultivos.
- Eliminar el “tiempo” como factor en la preparación de alimentos (conforme el manejo de la materia y la energía se hagan más eficientes).
- Eliminar la “agricultura”, con la producción de comida no biológica (conforme se haga viable la manufactura de nano procesadores que produzcan comida a partir de elementos reciclables).

## PROCESADO DE ALIMENTOS

La industria de alimentos y bebidas está ansiosa de abrazar la investigación en tecnología atómica. El departamento de ciencias de la alimentación de Rutgers University (en Nueva Jersey, Estados Unidos) contrató recientemente lo que considera el “primer profesor en nanotecnología alimentaria”.<sup>28</sup> En Rutgers, el profesor Qingrong Huang se centrará en el desarrollo de dos aplicaciones de las tecnologías nanoescalares para la industria alimentaria: “comida nutracéutica” que utilizará proteínas para administrar medicamentos a áreas determinadas del cuerpo, y empaques de alimentos que cambien de color alertando al consumidor cuando la comida contenida comienza a echarse a perder.

En 1999, Kraft Foods, el gigante de alimentos y bebidas estadounidense (subsidiario de Phillip-Morris), valuado en unos 34 mil millones de dólares, estableció el primer laboratorio de alimentos nano tecnológicos de la industria. En 2002, Kraft lanzó el consorcio NanoteK —que involucra un monto no revelado de financiamiento destinado a 15 universidades y laboratorios nacionales de investigación, con el fin de conducir investigación básica en torno a innovaciones diminutas que serán útiles en la tecnología alimentaria.

**Cápsulas nanométricas:** El Consorcio NanoteK de Kraft se está dedicando al desarrollo de productos alimenticios personales que reconozcan el perfil nutricional o de salud de un individuo —alergias o deficiencias nutricionales— o incluso un empaque lo suficientemente inteligente como para detectar y alterar las deficiencias vitamínicas del consumidor.<sup>29</sup> Los investigadores de NanoteK desarrollan también novedosos productos confeccionados a la medida de las papilas gustativas de cada consumidor. Por ejemplo, las nano partículas que encapsulan los sabores, los colores u otros elementos nutricionales, pueden activarse, sobre pedido, al lanzarles una solución líquida con una frecuencia específica de micro ondas.<sup>30</sup> Un consumidor sediento puede comprar una bebida incolora e insabora en la tienda de abarrotes y después seleccionar el sabor/nutriente/color de su elección fijando el transmisor de micro ondas a la frecuencia correcta. Las nano cápsulas seleccionadas se activarán mientras otras permanecen dormidas, soltando el sabor, el color o los nutrientes deseados.

**Comida inteligente:** Otra innovación de la industria de alimentos es la adición de agentes alteradores del color a las comidas (o a los empaques) para alertar a quien los procesa, o al consumidor, de que la comida no es segura.<sup>31</sup> Usando una “lengua electrónica”, sensores que pueden detectar químicos (a la escala de partes al billón), la industria espera desarrollar empaques de cárnicos que cambien de color en presencia de bacterias dañinas.

*En nuestra opinión, es esta la tecnología [la nanotecnología] que tendrá profundas implicaciones para la industria de la alimentación, aunque a mucha gente todavía no le quede claro.*

JOZEF KOKINI  
jefe departamental y director  
del centro de tecnología avanzada  
de alimentos de Rutgers<sup>27</sup>

## NO SI SE PODRÁ, SINO CUÁNDO

La tecnología atómica no es una tecnología “tal vez”. Aquellos familiarizados con la historia de la biotecnología reconocerán los signos: en los setenta y ochenta, los científicos convencionales usaron mucho del tiempo aire para decirle al mundo las maniobras irremontables, virtualmente imposibles, que la ingeniería genética tendría que efectuar para poder comercializarse. Al argumentarlo, ignoraron dos realidades:

- El desarrollo de la biotecnología creció exponencialmente, y en tandem, con el advenimiento de las nuevas tecnologías computacionales (la informática) que posibilitaron una ingeniería genética más veloz en sus avances, y más barata cada día. Los procesos paralelos o simbióticos impulsarán las tecnologías atómicas a una tasa incluso más rápida.
- No es necesario tenerla perfecta para que entre al mercado. Como quedó claro con la primera generación de productos genéticamente modificados, un fracaso científico puede, todavía, ser un éxito en términos de negocios. La sociedad (y el planeta) llevarán la carga de los atropellos científicos y la inacción gubernamental. Esté lista o no, algunas sub series de la tecnología atómica ya son viables a nivel comercial.

## SEIS MITOS RECICLABLES

**ALIMENTARÁ A LOS HAMBRIENTOS:** Hasta el momento, la biotecnología sólo alimenta a las corporaciones. Gran parte de los científicos considera que los usos agrícolas de la tecnología atómica se encuentran a unas cuantas décadas de distancia. Cuando arriben, si es que arriban, los pobres serán los últimos en tener acceso y los primeros en perder empleos y mercados.

**MEJORARÁ LA SALUD DE LOS POBRES:** No hasta el momento. Sólo si los pobres comieran mucho, sufrieran depresión o tuvieran propensión a la calvicie. La tecnología atómica no será más relevante para las necesidades de los pobres — o más accesible— que lo que es la biotecnología comercial y, por lo menos al inicio, será más cara.

**PROTEGERÁ EL AMBIENTE:** Esta fue la teoría que impulsó la *generación uno* de la biotecnología al afirmar que sus productos reducirían el uso de químicos. En realidad generó una nueva vuelta de la dependencia a los agro químicos.

**ES TECNOLOGÍA “VERDE”:** No que nos hayamos dado cuenta. La tecnología atómica, digamos que en su mejor nivel, como bien privado, simplemente reemplazará una serie de riesgos ambientales con otros problemas nuevos y/o adicionales asociados a la manipulación de la materia y la vida, el control y regulación de las nano partículas, la potencia nuclear y el manejo de procesos posiblemente incontrolables.

## Evaluación ETC

Las organizaciones de la sociedad civil con historia en torno a la biotecnología experimentarán un intenso e inmediato *dj vu* cuando escuchen los alegatos de que la tecnología atómica será de gran beneficio para los pobres. Al igual que la biotecnología, es teóricamente posible que, en un mundo justo y afable, la tecnología atómica tenga un papel que jugar. En ausencia de tal mundo —como siempre—, el control de la tecnología fortalecerá a los poderosos y su comercialización les conferirá, inevitablemente, mayor control monopolístico.

Es valioso recordar los argumentos de la biotecnología y tenderles vínculos con aquellos de la tecnología atómica...

**AHORRARÁ TRABAJO:** No hay evidencia que lo demuestre, por lo menos en el caso de la biotecnología. La tecnología atómica podría ahorrar trabajo, pero será el trabajo de los pobres (mineros, obreros de fábrica, agricultores) que se quedarán sin empleo y se verán imposibilitados de adquirir productos de la tecnología atómica.

**EN EL PEOR CASO, NO AFECTARÁ A LOS POBRES:** Aunque la biotecnología es asunto de la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE), sus efectos regulatorios y ambientales, y sus implicaciones sociales, se desparramaron muy rápidamente hacia el Sur. La biotecnología influye en las políticas de patentes y comercio de la Organización Mundial de Comercio (OMC), con enormes desventajas para el Sur. La biotecnología se ha infiltrado a los campos y a los alimentos del Sur, incluso si se le prohíbe o no se le recibe. La *generación tres* de la biotecnología posee el potencial para desplazar o dañar a los trabajadores y mercados del Tercer Mundo aunque únicamente se le usara en el Norte.<sup>32</sup> Con la tecnología atómica, vendrá el mismo problema en cascada.

Es miope e ingenuo que los voceros de la tecnología atómica aleguen que una tecnología que los pobres no controlan podrá usarse, de algún modo, para su beneficio.

## Notas

- <sup>1</sup> Citado por Ann Thayer, “Nanotech Meets Market Realities”, *Chemical and Engineering News*, p. 17.
- <sup>2</sup> Ver nota uno de la Sección Uno.
- <sup>3</sup> Anónimo, “The Same —Only More So?”, *The Economist*, 8-15 de diciembre, 2001, p. 12.
- <sup>4</sup> Anónimo, “The Biology of Invention: A Conversation with Stuart Kauffman and Robert Shapiro”, *Cap Gemini Ernst & Young Center for Business Innovation*, núm 4, otoño, 2000, disponible en la red electrónica: [www.cbi.cgey.com/journal/issue4/features/biology](http://www.cbi.cgey.com/journal/issue4/features/biology)
- <sup>5</sup> Muchas de las aplicaciones descritas en la sección provienen de “National Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan”, National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology, julio de 2000.
- <sup>6</sup> George Johnson, “At Lawrence Berkeley, Physicists Say a Colleague Took Them for a Ride”, *New York Times*, 15 de octubre de 2002.
- <sup>7</sup> Para hacer un tour amable al usuario, y al mismo tiempo informativo, en torno al cosmos subatómico, ver [www.particleadventure.org](http://www.particleadventure.org), un sitio electrónico diseñado por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley. Alguna de la información contenida en este recuadro proviene de dicho sitio.
- <sup>8</sup> Disponible en la red electrónica: [www.sc.doe.gov/production/herip/np/overview/overview.html](http://www.sc.doe.gov/production/herip/np/overview/overview.html)
- <sup>9</sup> Claudia Hume, “The Outer Limits of Miniaturization”, *Chemical Specialties*, septiembre de 2000.
- <sup>10</sup> [www.exxon.mobil.com/scitech/leaders/capabilities/mn\\_chemical\\_catalyst\\_meta.html](http://www.exxon.mobil.com/scitech/leaders/capabilities/mn_chemical_catalyst_meta.html)
- <sup>11</sup> Anónimo, “Designer Plastics”, *The Economist*, 8-15 de diciembre de 2001, pp. 26-28. Ver también [www.dow.com/index/what/what1a.htm](http://www.dow.com/index/what/what1a.htm)
- <sup>12</sup> Charles Lieber, “The Incredible Shrinking Circuit”, *Scientific American*, septiembre de 2001, p. 61.
- <sup>13</sup> Kenneth Chang, “IBM Creates a Tiny Circuit Out of Carbon”, *New York Times*, 27 de agosto de 2001. Disponible en la red electrónica: [www.research.ibm.com/nanoscience](http://www.research.ibm.com/nanoscience)
- <sup>14</sup> Baranaby J. Feder, “At IBM, a Tinier Transistor Outperforms Its Silicon Cousins”, *New York Times*, 20 de mayo de 2002.
- <sup>15</sup> *Ibid.*



- <sup>16</sup> IBM News Release, “Millipede Project Demonstrates Trillion-bit Data Storage Density”, 11 de junio de 2002, disponible en la red electrónica: [www.ibm.com/news/us/2002/06/11.html](http://www.ibm.com/news/us/2002/06/11.html)
- <sup>17</sup> Peter Fairley, “Nanotech by the Numbers”, *Technology Review*, septiembre de 2002, p. 49.
- <sup>18</sup> *Ibid.*
- <sup>19</sup> Algunas de las aplicaciones que anotamos las extrajimos de Interagency Working Group on NanoScience, USA (IWGN), M.Roco, Chair, “Nanotechnology —A Revolution in the Making— Vision for R&D in the Next Decade”, 1999.
- <sup>20</sup> MIT News, “Army Selects MIT for \$50 Million Institute to use Nanomaterials to Clothe, Equip Soldiers”, 14 de marzo de 2002. Disponible en la red electrónica: [web.mit.edu/newsoffice/nr/2002/isnqa.html](http://web.mit.edu/newsoffice/nr/2002/isnqa.html)
- <sup>21</sup> *Ibid.*
- <sup>22</sup> Raytheon News Release, “Raytheon is Founding Partner in Institute for Soldier Nanotechnologies at MIT”, 8 de mayo de 2002.
- <sup>23</sup> Estos ejemplos se tomaron de dos fuentes: Defense Advanced Research Projects (DARPA), the R&D arm of the US Department of Defense, DARPA Fact File, A Compendium of DARPA Programs, abril de 2002. En la red electrónica [www.darpa.mil/body/NewsItems/darpa\\_fact.html](http://www.darpa.mil/body/NewsItems/darpa_fact.html) y MIT News release, “Questions and Answers: Army Selects MIT for \$50 Million Institute to Use Nanomaterials to Clothe, Equip Soldiers”, 13 de marzo, 2002.
- <sup>24</sup> Jayne Fried, “What can Small Tech do for its Country? Just Ask, say Top Soldier”, *Small Times*, 9 de agosto de 2002. Disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>25</sup> Dr. James Baker Jr, Director, Center for BiologicNanotechnology, University of Michigan, disponible en la red electrónica: [nano.med.umich.edu/Personnel.htm1#Baker](http://nano.med.umich.edu/Personnel.htm1#Baker)
- <sup>26</sup> Eugene Wong, Assistant Director of National Science Foundation (USA), “Nano-scale Science and Technology: Opportunities for the Twenty First Century”, 1999.
- <sup>27</sup> Elizabeth Gardner, “Brainy Food: Academia, Industry Sink their Teeth into Edible Nano”, *Small Times*, 21 de junio de 2002. Disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>28</sup> *Ibid.*
- <sup>29</sup> *Ibid.*
- <sup>30</sup> Charles Choi, United Press International, “Liquid-coated Fluids for Smart Drugs”, 28 de febrero de 2002.
- <sup>31</sup> Solicitud de patente estadounidense número 20020034475, titulada, “Ingestibles Possessing Intrinsic Color Change”.
- <sup>32</sup> Para obtener más detalles, ver el comunicado del Grupo ETC: “Biotech’s Generation Three”, noviembre/diciembre de 2000. Disponible en la red electrónica: [www.etcgroup.org/article.asp?newsid=158](http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=158)

Aun tomando en cuenta

todo lo que desconocemos,

todos sus riesgos,

todos los peligros,

¿quién le diría no a lo nanométrico?

Ed Regis

*Nano, The Emerging Science of Nanotechnology*

## ¿A quién le importa?

### el reparto de caracteres que impulsan las nuevas tecnologías

Más que nada, es la diversidad de los actores institucionales involucrados en las tecnologías atómicas lo que acciona las enormes presiones económicas y políticas que apremian la entrada de los productos nanoescalares al mercado.

#### **NANO APLICADITOS: las instituciones científicas**

Como ocurriera con la biotecnología, esta nueva serie de tecnologías fue primero concebida y alimentada por la academia. Hoy, todas las universidades importantes que mantienen un interés por las ciencias físicas abanderan sus innovaciones en tecnología atómica. El rango de las instituciones es interesante: al MIT, el Instituto Max Planck, Cornell, Rice University, la Universidad de California, Harvard y Cambridge, se les han unido centros científicos más pequeños en la Universidad de Texas, Penn State, la Universidad de Uppsala en Suecia, Kansas State, New York State, la Universidad de Washington en Seattle, y la Universidad de Queensland en Australia —por nombrar sólo algunas de una enorme lista. Durante los noventa del siglo XX, muchos de los Premios Nobel en física y química obtuvieron sus galardones por investigaciones relacionadas con la escala atómica (ver la tabla al inicio de la Sección Tres).

#### **NANO PROMOTORES: las compañías de innovación nanométrica**

En los tiempos que corren, los profesionales de la empresa se mudan pronto de sus laboratorios universitarios a negocios de innovación nanométrica. Con mucha frecuencia, se llevan sus mejores ideas y sus estudiantes más brillantes con ellos (y algunas veces las ideas de sus alumnos). Debido a que es difícil competir con los *campus* universitarios, en cuanto al acceso ilimitado a la mano de obra del alumnado y al equipo de laboratorio que brindan, muchos académicos mantienen sus lazos universitarios —por lo menos en estos primeros estadios— mientras se preparan para lanzar su “oferta pública inicial” (les dicen OPI), es decir, convertir su empresa privada en compañía pública, en la bolsa de valores. Hasta entonces, los académicos trabajan vinculados cercanamente a los fondos que les allega el capital de riesgo, mientras amasan el dinero necesario aguantar el arranque.

Actualmente, existen en Estados Unidos tres fondos dedicados casi exclusivamente a lo que se clasifica como “nanotecnología”. Los promotores de lo nanométrico en la década del “Punto-Algo” (en alusión a las direcciones electrónicas) replican la experiencia de las boutiques biotecnológicas de los setenta y ochenta. A continuación se presenta una primera muestra de los actores involucrados (dos de los cuales lograron entrar a la lista de los 100 de *Herring*, para 2002: la valoración que hace la revista *Red Herring* de las compañías que tienen “mayor probabilidad de cambiar el mundo”).

## Una muestra de compañías promotoras de lo nanométrico

COMPAÑÍA	QUÉ HACE
<p><b>Argonide Nanometals</b> Sanford, Florida, EU www.argonide.com</p>	<p>Argonide manufactura materiales de fibra de cerámica nanoescalar para incrementar la resistencia, la fuerza y el aislamiento de metales, plásticos, matrices de polímeros y bio materiales. La compañía produce también polvos nanométricos de aluminio, usados como aceleradores, o como material de ignición y propulsores en los cohetes de alta presión. A fines de 1999, Argonide recibió un fondo de 1.4 millones de dólares, para investigación y desarrollo, del Departamento de Energía, parte del cual sirve para cubrir el empleo de científicos provenientes de la Unión Soviética, que antes se dedicaban al desarrollo de armas de destrucción masiva. La compañía utiliza novedosos materiales nanométricos para filtrar virus y bacterias del agua potable.</p>
<p><b>California Molecular Electronic Corporation</b> San José, California, EU www.calmec.com</p>	<p>Calmec apunta a ser el líder de la industria relacionada con la electrónica molecular. Fundada en marzo de 1997, la compañía busca desarrollar comercialmente el uso de moléculas individuales en la formación de componentes utilizados en dispositivos electrónicos.</p>
<p><b>Carbolex</b> Lexington, Kentucky, EU www.carbolex.com</p>	<p>Carbolex vende nano tubos de una sola pared (por la red electrónica, a granel) a los investigadores de la industria y la academia. Carbolex es miembro del centro de comercialización de ciencia avanzada y tecnología de la Universidad de Kentucky en Lexington, e integra personal universitario y científicos de las corporaciones de alta tecnología.</p>
<p><b>Carbon Nanotechnologies, Inc.</b> Houston, Texas, EU www.carbonnanotech.com</p>	<p>Carbon Nanotechnologies fue fundada por Bob Gower y Richard Smalley (Premio Nobel en 1996 y director del centro de ciencia e ingeniería nanoescalar de Rice University), con fondos de la National Science Foundation. La compañía produce, investiga y vende nano tubos de carbono utilizando tecnologías de las cuales Rice tiene la patente.</p>
<p><b>Chemat</b> Northridge, California, EU www.chemat.com</p>	<p>Fundada en 1990, Chemat se aboca a la creación y comercialización de materiales y tecnologías avanzados, usando técnicas, propiedad de la compañía.</p>
<p><b>eSpin Technologies, Inc.</b> Chattanooga, Tennessee, EU www.nanospin.com</p>	<p>eSpin es el primer productor comercial de nano fibras de entre 30 y 400 nanómetros de diámetro que se utilizan en filtrajes, en tejidos usados como blindaje, en ropa protectora, en la elaboración de compuestos, en ingeniería de tejidos y en celdas de combustible.</p>
<p><b>Nanoframes llc</b> Boston, Massachussets, EU www.nanoframes.com</p>	<p>El objetivo de Nanoframes es desarrollar y posibilitar tecnología para la manufactura de bloques de construcción nanoescalares, funcionales, usando proteínas auto ensamblables. El lema de la compañía es "aprovechar la Naturaleza para transformar la materia".</p>
<p><b>Nanomix</b> Emeryville, California, EU www.nano.com</p>	<p>Nanomix es pionera en el uso del moldeado cuántico —la utilización de computadoras para virtualmente diseñar materiales nanométricos, átomo por átomo. El objetivo de la compañía es comercializar los primeros nano componentes que funcionen.</p>

## Una muestra de compañías promotoras de lo nanométrico

### COMPAÑÍA

### QUÉ HACE

#### **Nanolayers**

Jerusalén, Israel  
www.nanolayers.com

Fundada en 2001, la compañía espera comercializar materiales semi conductores orgánicos, usando una tecnología desarrollada por el doctor Shlomo Yitzchaik, del departamento de química inorgánica de la Universidad Hebrea de Jerusalén.

#### **Nanophase Technologies Corp.**

Romeoville, Illinois, EU.  
www.nanophase.com

Con ingresos de 4.3 millones de dólares en 2000, Nanophase es una de las pocas compañías que cuentan con fondos públicos para su actividades. La compañía utiliza un proceso patentado para hacer ingeniería con las propiedades físicas, ópticas, eléctricas y mecánicas de nano materiales que pueden añadirse a otros materiales con el fin de incrementar su fuerza, su resistencia a la abrasión y su conductividad eléctrica. Nanophase produjo 200 toneladas métricas de nano materiales en el año 2000 y ha solicitado 29 patentes que cubren tecnologías clave.

#### **Nanoprobes**

Yaphank, Nueva York, EU  
www.nanoprobes.com

Nanoprobes produce y vende partículas coloidales de oro nanométrico utilizado en bio diagnósticos, en la detección de enfermedades y las pruebas de embarazo.

#### **Nanosphere, Inc.**

Alachua, Florida, EU  
www.nanosphere.com

Nanosphere, fundada por los investigadores de la Universidad de Florida, se centra en comercializar tecnologías que utilizan nano partículas en las terapias de inhalación.

#### **Nano-X GmbH**

Saarbrücken-Güdingen, Alemania  
www.nano-x.de

Nano-X GmbH utiliza nanotecnología química para desarrollar y producir nuevos materiales con características multi funcionales, tales como superficies que se limpian solas, paredes anti graffiti y plástico resistente a las rayaduras.

#### **Quantum Dot Corporation**

Hayward, California, EU  
www.gdots.com

Quantum Dot utiliza nano cristales semi conductores ("puntos cuánticos") en aplicaciones biológicas, bio químicas y bio médicas. Los puntos cuánticos, adosados a bio moléculas, actúan como "faros" ópticos que se encienden con diferentes colores dependiendo de su tamaño. La compañía obtuvo más de 37.5 millones de dólares en financiamiento y tiene solicitudes para más de cincuenta patentes.

#### **Semzyme**

Santa Barbara, California, EU  
www.semzyme.com

Esta empresa de innovación fue fundada por Barbara Belcher y Evelyn Hu, y su objetivo es comercializar "herramientas proteínicas" que pueden usarse en el alambrado nanoescalar de los componentes electrónicos.

#### **Sustech GmbH**

Darmstadt, Alemania  
www.sustech.de

Fundada por un grupo de seis profesores, el laboratorio de la compañía se encuentra en la Darmstadt University of Technology. Su propósito es desarrollar productos sin problemas ambientales mediante el uso de sistemas nanoescalares.

#### **Zyvex Corporation**

Richardson, Texas, EU  
www.zyvex.com

La primera y única compañía dedicada por completo al desarrollo de tecnología de manufactura molecular. Zyvex desarrolla arquitectura para fabricar brazos robóticos minúsculos, que trabajen juntos para ensamblar partes en miniatura.

## LOS GIGANTES DE LA TECNOLOGÍA ATÓMICA: Mogules multinacionales de la materia

A diferencia de lo ocurrido con la biotecnología, desde el principio las tecnologías atómicas atrajeron el interés de las grandes multinacionales. Mientras que el clamor de las bio boutiques fue un grito en el desierto, conforme los gigantes corporativos que las predarían se asomaban amenazantes en el horizonte, algunas de las compañías más grandes del mundo ya entendieron que el *salto a la inmensidad de lo mínimo* no va a esperar a nadie. IBM ya comprometió 100 millones de dólares en investigar y desarrollar la nano electrónica.<sup>1</sup> Dado que las nuevas tecnologías manipulan todos los segmentos del mercado global, el espectro de corporaciones involucradas no es menos diverso. A Exxon Mobil, IBM y Dow Chemical se suman Xerox, 3M y Alcan Aluminium. Los estadounidenses tienen también a Johnson & Johnson, Hewlett-Packard, Lucent, Motorola, Eli Lilly y DuPont. Los japoneses son fuertes competidores con Sony, Toyota, Hitachi Mitsubishi, NEC y Toshiba. Los europeos compiten a través de Philips, L'Oreal, Aventis, BASF y Bayer; existe también un escuadrón de empresas escandinavas, francesas y holandesas. La suposición operativa más razonable es que las compañías anotadas dominan el cuadro.

Un caso que viene a cuento es la alharaca provocada en torno a los catalizadores plásticos nanoescalares (ver Sección Cuatro, cuadro sobre los Nanopolios) cuando se concedieron más de 3 mil patentes a un gran conjunto de compañías. Después de asentado el polvo, Exxon Mobil y Dow se quedaron con el control tecnológico. La combinación que hizo el milagro fue litigar y cortejar al mismo tiempo. Aquellos a los que no pudieron intimidar con demandas legales fueron, simplemente, absorbidos.<sup>2</sup>

## NANÓCRATAS: los respaldos gubernamentales

El respaldo visible más amplio viene, por supuesto, de los gobiernos. Desde mediados de 2002, por lo menos 30 países emprendieron acciones nacionales en relación con las ciencias nanométricas. En enero de 2000, el presidente Bill Clinton anunció una iniciativa nacional de nanotecnología (The National Nanotechnology Initiative), que dio el banderazo de salida para una carrera, cabeza con cabeza, entre el poder estadounidense y Japón, mientras la Unión Europea intentaba emparejarse. Aquí es donde estamos ahora...

**Japón:** Aunque Estados Unidos pueda verse como el lugar de nacimiento de la tecnología atómica a nivel teórico (cuyo hito fundacional es el hoy famoso discurso de Richard Feynman ante la American Physical Society en Caltech, en 1959), Japón es quien hizo nacer la tecnología atómica aplicada en 1991, cuando el investigador de NEC, Iijima Sumio, descubrió los nano tubos de carbono. En la actualidad, Japón se centra en su recuperación económica y el gobierno está convencido de que la clave de dicha recuperación serán la ciencia y la tecnología. En congruencia con lo anterior, ha incrementado el presupuesto invertido en investigación y desarrollo de ciencia y tecnología, mientras todos los otros departamentos gubernamentales sufren recortes importantes. El aumento en el financiamiento gubernamental en el rubro de investigación nanoescalar comenzó en 1995, con la ley de tecnología básica número 130, del gobierno japonés, que tuvo por resultado un incremento general en el apoyo público a la investigación básica.<sup>4</sup> La ley permitió asignar, entre 1996 y 2000, 14 800 millones de dólares en investigación básica a las universidades, la industria y los laboratorios nacionales. En marzo de 2001, el gobierno anunció que la inversión para los siguientes cinco años (2001-2005) incrementaría a 20 800 millones de dólares.<sup>5</sup> Tan sólo en 2001, el gobierno concedió 431 millones de dólares a las ciencias relacionadas con lo nanométrico.<sup>6</sup> En Japón, los organismos gubernamentales y las compañías muy grandes son la fuente principal de financiamiento para la investigación y el desarrollo de la tecnología atómica. Todas las grandes cor-

*Todas las naciones del mundo ven la nanotecnología como una actividad para el futuro, que impulsará su posición competitiva en la economía mundial.*

NEAL LANE,  
profesor de Física  
en Rice University<sup>3</sup>

poraciones japonesas dedican una porción significativa de sus entradas (en la industria electrónica este monto representa, generalmente, un 10 por ciento) a los rubros de investigación y desarrollo. La investigación corporativa japonesa tiende a estar orientada a los productos, pero existe también una muy bien establecida cultura dentro de las corporaciones y la comunidad científica que impulsa la planeación de las siguientes generaciones de la innovación tecnológica.

Los principales organismos gubernamentales que patrocinan la nanotecnología en Japón son el ministerio de comercio internacional e industria (MITI en inglés), la agencia de ciencia y tecnología (STA) y Monbusho (o ministerio de educación, ciencia, deportes y cultura).

Pero la liquidez que mantiene funcionando el impulso nano tecnológico proviene de las grandes compañías, asociadas frecuentemente con el gobierno: en especial Hitachi, NEC, NTT, Fujitsu, Sony, Mitsubishi. En 2001 Mitsubishi Corporation lanzó el primer fondo accionario, privado, relacionado con lo nano tecnológico: Nanotech Partners. El fondo, que consta de 100 millones de dólares, respalda actualmente a Frontier Carbon Corporation, un productor de fullerenos a granel.<sup>7</sup>

Los consorcios privados juegan también un papel destacado en Japón. Además, la interacción industria-universidades se ve estimulada por los proyectos del ministerio de comercio internacional e industria, concedidos a universidades que alientan el empleo temporal de personal de investigación proveniente de la industria. Muchos laboratorios académicos cuentan con personal que labora en la industria y que son invitados de largo plazo en sus instalaciones. Un laboratorio puede tener empleados que trabajan en compañías competidoras y que, no obstante, trabajan hombro con hombro en los proyectos específicos.

**Estados Unidos:** Las primeras zancadas emprendidas por Japón en la ruta de la tecnología atómica acicatearon a Estados Unidos a lanzar su iniciativa nacional en nanotecnología.

En 1997, las agencias federales estadounidenses gastaron 116 millones de dólares en investigación nano tecnológica, siendo la National Science Foundation la que cargó con el peso, pues tan sólo esta instancia invirtió 65 millones de dólares. Un informe de julio de 2000, preparado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del sub comité de ciencia, ingeniería y tecnología nanoescalares, fue lo que sentó las bases para la iniciativa nacional en nanotecnología, con lo cual se incrementó el monto de la inversión en más de una vez y media, si se le compara con el año anterior.

Bill Clinton solicitó 495 millones para destinarlos a investigación nano tecnológica en el año fiscal de 2001, y el Congreso estadounidense se le concedió 422 millones, para que fueran distribuidos entre seis agencias gubernamentales: La National Science Foundation (que recibió la tajada más grande), el departamento de Defensa, el departamento de Energía, los institutos nacionales de salud, aeronáutica nacional y administración espacial, así como el instituto nacional de criterios y tecnología, del departamento de Comercio.

George Bush solicitó 518.9 millones de dólares para la investigación en tecnologías atómicas durante el año fiscal de 2002, y seis otras agencias gubernamentales recibieron por vez primera fondos provenientes de la iniciativa nacional en nanotecnología. Los nuevos beneficiarios fueron los departamentos de Agricultura, Justicia, Transporte, Tesoro, Estado, además de la Agencia de Protección Ambiental. Para el año fiscal de 2003, Bush quiere incrementar los fondos de la iniciativa nacional en nanotecnología a 710 millones de dólares; algunos miembros del Congreso estadounidense sometieron a consideración una iniciativa de ley denominada "Investing in Ameri-

### Financiamiento otorgado por el gobierno de Estados Unidos a la nanotecnología durante el año fiscal 2003

Total: \$710.2 millones de dólares



Las cifras están en millones de dólares y fueron extraídas de MC Roco, National Science Foundation

ca's Future Act" (decreto para invertir en el futuro de Estados Unidos), lo que incrementaría el gasto en tecnología atómica, dentro de la National Science Foundation, de 221 millones a 238 millones de dólares en 2003.<sup>8</sup>

En septiembre de 2002, se propuso una iniciativa de ley en el Congreso estadounidense para crear una nueva y permanente agencia federal que promueva las ciencias nanométricas, y su investigación, desarrollo y educación. La iniciativa establecería un programa nacional en investigación nano tecnológica, a modo de instancia federal con presupuesto y personal propios, cuya pretensión sería lograr que la investigación nanoescolar fuera menos dependiente de los humores de la Casa Blanca. La audiencia en el Congreso, donde se discutió la iniciativa de ley propuesta, fue descrita por *Small Times* como un "escarceo amoroso en nanotecnología".<sup>9</sup> La iniciativa proporciona 5 millones anuales a la creación de un centro relacionado con aspectos éticos, sociales, educacionales, legales y de fuerza de trabajo, relacionados a la nanotecnología.

El gobierno estadounidense asume que las grandes corporaciones están invirtiendo en la tecnología atómica a niveles comparables con su propio compromiso de financiamiento. Las pequeñas empresas innovadoras le proporcionan a los investigadores los nano materiales necesarios. Los consorcios procesadores de semi conductores, como Sematech (un consorcio que agrupa a 13 corporaciones fabricantes de semi conductores, de siete países, con sede en Austin, Texas), y la Semiconductor Research Corporation (un consorcio de miembros universitarios y de la industria con sede en el Research Triangle Park, NC y San José, California), contribuyen con investigación.

Durante los últimos años, se establecieron centros inter disciplinarios relacionados con la tecnología atómica en muchas universidades estadounidenses y, en el año 2000, la Universidad de Washington lanzó el primer programa doctoral estadounidense en nanotecnología.

**Unión Europea:** La inversión dispuesta por la UE para el rubro *nanotecnología* es particularmente difícil de evaluar porque además de los programas nacionales, las grandes corporaciones, las universidades y los consorcios, hay redes de colaboración que abarcan unos cuantos o muchos países.

Los ejemplos incluyen:

- El programa Phantoms (Physical and Technology of Mesoscale Systems, que aborda los sistemas físicos y tecnológicos de meso escala) es en realidad una red, creada en 1992, que agrupa a cuarenta miembros. Su sede está en Lovaina, Bélgica.
- La red de la fundación europea para la ciencia (European Science Foundation), se creó en 1995 para la síntesis y el procesamiento en *fase vapor* de materiales formados con nano partículas. Este consorcio (conocido como *Nano*) tiende un puente entre las comunidades científicas que, trabajando con nano partículas, se abocan a los aerosoles o a los materiales, e incluye 18 centros de investigación.
- El European Consortium on NanoMaterials (ECNM, un consorcio europeo de nano materiales) se formó en 1996 y su centro está en Lausana, Suiza.
- La NEOME (Network for Excellence on Organic Materials for Electronics, red de excelencia en materiales orgánicos para la electrónica) contaba, desde 1992, con algunos programas relacionados con lo nanométrico.
- La European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (EUSPEN, una sociedad europea para la ingeniería de precisión y la nanotecnología) fue creada en 1997 con participación de la industria y de algunas universidades de seis países miembros de la UE.
- La red del centro de investigación conjunta en materiales nano estructurados (Joint Research Center Nanostructured Materials Network) se estableció en 1996 y su sede está en Ispra, Italia.



**Financiamiento europeo:** A mediados de 2002, se adoptó el sexto programa de marcos de referencia (Sixth Framework Programme), instrumento principal del financiamiento destinado a la investigación en ciencia y tecnología de la Unión Europea. El programa considera que las ciencias nanoescalares son una de las siete áreas clave que deben recibir financiamiento, y le dedicó a la nanotecnología 1 300 millones de dólares de su presupuesto para el periodo 2002-2006, dos veces el monto previsto para esta rama de la actividad científica en el periodo anterior.<sup>10</sup> El servicio de información sobre investigación y desarrollo de la Comisión Europea (European Commission's Research and Development Information Service, CORDIS por sus siglas en inglés) mantiene un sitio electrónico con detalles acerca del sexto programa de marcos de referencia (2002-2006).

**Lo nanométrico nacional en Europa:** Alemania, Francia, Suiza y el Reino Unido tienen programas nacionales de investigación en tecnología atómica particularmente bien establecidos. Suiza se gasta 72 millones de dólares en nanotecnología —la mayor inversión *per capita* del mundo destinada a iniciativas de ciencia nanoescalar.<sup>11</sup> En Alemania, el ministerio federal de educación, ciencia, investigación y tecnología (Bundesministerium für Bildung und Forschung-BMBE) ha establecido seis “centros de competencia en nanotecnología” por todo el país. Estos centros de competencia se centran en las aplicaciones industriales de la tecnología atómica; sus funciones son “principalmente las relaciones públicas, la difusión y enseñanza, la creación de un ambiente atractivo económicamente y la asesoría a los proyectos industriales relacionados con el campo de la nanotecnología”. A mediados de 2002 el ministerio alemán de educación e investigación lanzó un nuevo programa de seis años y destinó 50 millones de dólares de apoyo a la nanotecnología.

Los institutos Fraunhofer y Max Planck (en particular el Instituto Max Planck de investigación en estado sólido, en Stuttgart, y el Max Planck Institut für Biochemie —investigación bioquímica— en Martinsried) han formado también centros de excelencia en investigación relacionada con la tecnología atómica.

El Reino Unido planea dedicar 43 millones de dólares a la nueva investigación interdisciplinaria en nanotecnología, en los próximos seis años, y 70 millones de dólares para crear en la Universidad de Oxford un parque de ciencia y negocios nano tecnológicos.<sup>12</sup>

En Francia, el centro nacional de investigación científica (Center National de la Recherche Scientifique, CNRS) ha desarrollado programas de investigación, en nano partículas y materiales nano estructurados, en unos cuarenta laboratorios de física y veinte laboratorios de química de todo el país. Aunque Francia es un jugador relativamente pequeño, el gobierno espera expandir la investigación en ciencias nanométricas. Francia cuenta con cinco centros de investigación nano tecnológica con instalaciones que incluyen **cámaras limpias**. Hay unos mil investigadores en ciencias nanométricas y mil doctorantes y post doctorantes que trabajan en el campo.<sup>13</sup>

**Australia:** La capacidad australiana en ciencias nanoescalares surge principalmente del sector de las instituciones públicas, especialmente del Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO (la organización de investigación científica e industrial del Commonwealth —la comunidad de países vinculados de una u otra manera al Reino Unido), los centros de cooperación científica y las universidades.<sup>14</sup> En enero de 2002, el gobierno anunció que su consejo de investigación dedicaría un tercio de su presupuesto para 2003 (cerca de 86.4 millones de dólares en el lapso de cinco años) a cuatro áreas prioritarias incluyendo la nanotecnología, la genómica, los sistemas complejos e inteligentes y la fotónica. El financiamiento a la nanotecnología incluye apoyar la expansión de las instalaciones para la fabricación nanométrica de semi conductores en New South Wales University, hasta convertirlas en un centro de investigación especial en tecnología computacional cuántica.

En diciembre de 2001, la Universidad de Queensland y el gobierno de esa región, anunciaron que establecerían un instituto australiano de bio ingeniería y nanotecnología en el campus de la universidad en Brisbane.<sup>15</sup> Cuatro universidades —New South Wales, Queensland, Western Australia y Sidney— anunciaron en noviembre de 2002 que colaborarían para comprar y compartir cuatro potentes microscopios electrónicos.<sup>16</sup> La colaboración es patrocinada por la Nanostructural Analysis Network Organization Major National Research Facility (instancia para proporcionar grandes instalaciones de investigación nacional a la red organizativa de análisis nano estructural), cuya sede está en Sidney.

---

## NANOS DEL SUR

La investigación en tecnologías nanoescalares crece también por todo el Sur. Más allá de los obvios líderes en alta tecnología de Asia y el Pacífico, hay ya unos cuantos países que impulsan iniciativas en ciencias nanométricas y están decididos a no quedarse fuera de la jugada. La vasta mayoría del trabajo en América Latina y África parece concentrarse en las universidades o institutos científicos, con muy poco apoyo gubernamental. A excepción de unos cuantos países del área, la tecnología atómica está en una fase muy naciente en casi todo el Sur, y hasta el momento hay muy poca actividad en África.

El mapa que se presenta al final de esta sección ilustra el número de microscopios de fuerza atómica que podían hallarse, a mediados de 2002, en algunos países selectos. Así, da una medida de la capacidad técnica del Sur en relación a la que tienen las naciones industrializadas. El mapa se basa en información proporcionada por Veeco, el vendedor de microscopios de fuerza atómica más grande del mundo. Sin embargo, es un solo indicador de la capacidad nano tecnológica en un solo punto en el tiempo, no el retrato definitivo. De igual manera, nuestra revisión de las iniciativas en ciencias nanométricas en el Sur tampoco ofrece el panorama completo, ni es abarcativo. Los siguientes son algunos de los primeros y más prominentes intentos del Sur por participar de la tecnología atómica.

**Taiwán:** En septiembre de 2002, el gobierno taiwanés lanzó una inversión de seis años por 667 millones de dólares con el fin de promover las aplicaciones nano tecnológicas.<sup>17</sup> También en septiembre de 2002, el consejo nacional de ciencia, a nivel gabinete (NSC, por sus siglas en inglés) inauguró un laboratorio nano tecnológico y un centro de diseño de sistemas de chips en el parque industrial de la ciencia, en Taiwán. El NSC etiquetó 1.1 millones de dólares para implementar el proyecto.<sup>18</sup> Taiwán es la sede de muchas compañías productoras de nano partículas, incluida China Synthetic Rubber Corp., United Silica Industrial Ltd., DuPont Taiwan Ltd., Eternal Quemical Co., Ltd. y Pai Kong Ceramic Materials Co., Ltd.<sup>19</sup> Las proyecciones son que la industria taiwanesa de la tecnología atómica alcanzará un valor de 8 690 millones de dólares en 2008, contando con 800 fabricantes involucrados en inversiones, investigación y producción relacionadas.<sup>20</sup> En junio de 2002, el ministro de asuntos económicos de Taiwán, Lin Yifu, condujo una delegación de treinta personas a Alemania, Gran Bretaña y España para fomentar las inversiones en las industrias de alta tecnología taiwanesas.<sup>21</sup>

**Corea del Sur:** Este país está obteniendo prominencia en el campo de las ciencias nanoescalares. En marzo de 2002, el gobierno de Corea del Sur anunció planes de inversión en nanotecnología que implican 145 millones de dólares —un incremento del 93 por ciento respecto del año anterior. El ministerio de ciencia y tecnología de Corea del Sur construirá un centro de nano fabricación en el Korea Advanced Institute of Science and Technology (un instituto nacional de ciencia y tecnología avanzadas). El gobierno planea ofrecer incentivos fiscales a las compañías extranjeras que se involucren en investigación de tecnología atómica en suelo coreano.<sup>22</sup>

**República Popular de China:** Según Bai Chunli, vice presidente de la Academia China de Ciencia, el gobierno únicamente ha invertido cantidades modestas en investigación nano tecnológica.<sup>23</sup> Sin embargo, para desgracia de Taiwán y Japón, China atrae a las compañías de alta tecnología de los países aledaños que buscan reducir sus costos de producción. Aun sin contar con un compromiso financiero importante por parte del gobierno, China da zancadas impresionantes en la investigación relacionada con los nano tubos. El desarrollo nano tecnológico chino tiene su centro en Shangai, que es sede de un racimo de unas veinte instituciones relacionadas con las ciencias nanométricas.<sup>24</sup> El programa nacional chino de investigación y desarrollo en alta tecnología se propone impulsar la competitividad de dicho país, y mejorar la capacidad para la investigación y el desarrollo de la alta tecnología de la nación.<sup>25</sup> El programa financia proyectos tales como el programa de almacenamiento de hidrógeno y nano tubos de carbono de la Academia China de Ciencias. En 2002 se inauguró en Pekín el centro de ciencias nanométricas de la Academia China de Ciencias. El centro une a más de doce institutos y universidades, en las regiones alejadas de los centros urbanos, para que colaboren en las tareas de investigación.<sup>26</sup> En septiembre de 2002, Veeco Instruments Inc. inauguró las instalaciones de un centro chino de nanotecnología, en Pekín. Las instalaciones contarán con científicos e ingenieros locales como personal, y dispondrán de microscopios de fuerza atómica y de barrido en túnel de la compañía. Las instalaciones están a cargo del instituto de química de la Academia China de Ciencias, un organismo nacional de investigación.<sup>27</sup>

**Singapur:** Entre 1997 y 2002, el gobierno de Singapur adjudicó 36.7 millones de dólares para iniciativas nano tecnológicas y promueve con entusiasmo los negocios relacionados con la tecnología atómica.<sup>28</sup> En enero de 2002 se estableció en la Universidad Nacional de Singapur una iniciativa de ciencias nanométricas y nanotecnología (Nanoscience & Nanotechnology Initiative, NUSNNI), un grupo interdisciplinario compuesto por las facultades de los departamentos de ingeniería electrónica, ingeniería mecánica, ingeniería de materiales, ingeniería ambiental, química, física, biología matemáticas y otras. En marzo de 2002 Singapur estableció también un instituto de bio ingeniería que conduce investigación conjunta en nanotecnología con SurroMed Inc. (compañía estadounidense).

**India:** En este país, es “naciente” la fase de investigación relativa a nano materiales.<sup>29</sup> El gobierno no ha proporcionado un financiamiento sustancial a iniciativas relacionadas con las ciencias nanométricas. La investigación en tecnología atómica más relevante se concentra en menos de doce instituciones que reciben fondos públicos para su funcionamiento. Entre los más prominentes se encuentran el Indian Institute of Science, en Bangalore, el Tata Institute of Fundamental Research, el IITs y el instituto de radiofísica de la Universidad de Calcutta.<sup>30</sup> Lo sorprendente es que existe muy poca actividad hasta la fecha, pese a que se rumora que varias de las principales compañías farmacéuticas en India están invirtiendo en proyectos de administración de medicamentos con nano partículas.<sup>31</sup>

**México:** Los científicos de este país están ansiosos de obtener apoyos gubernamentales para la investigación en tecnología atómica, pues actualmente dichos respaldos están circunscritos a unos cuantos institutos científicos importantes. Estos incluyen al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) y el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). Los investigadores de este último, Humberto Torres Maldonado y Mauricio Terrones Maldonado, están considerados entre los científicos más prominentes del mundo por llevar a cabo una investigación sobre el uso del rayo de electrones en la soldadura para unir nano tubos de carbono.<sup>32</sup> Su laboratorio en San

Luis Potosí está equipado con un microscopio electrónico muy sofisticado, único en su tipo en América Latina.<sup>33</sup>

**Brasil:** En 2002, el gobierno brasileño invirtió cerca de un millón de dólares en investigación tendiente a promover iniciativas nano tecnológicas.<sup>34</sup> En los estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais y Pernambuco se han establecido centros y existen programas de colaboración con Francia, Alemania, Los Países Bajos y Estados Unidos. La investigación atómica en Brasil se estructura en cuatro redes que involucran a más de 200 doctores por todo el país. Las redes incluyen las siguientes áreas de investigación: 1) nano electrónica y áreas relacionadas; 2) materiales nano estructurados; 3) nanotecnología molecular; 4) nano biología.<sup>35</sup>

**Sudáfrica:** En marzo de 2002, el gobierno lanzó la South African Nanotechnology Initiative (SANI), iniciativa que busca expandir la nanotecnología en dicho país, pero que aún no recibe los fondos requeridos por parte del gobierno.<sup>36</sup> El propósito de la iniciativa es promover la investigación nano tecnológica y sus aplicaciones a todos los niveles del gobierno y la industria en Sudáfrica. Un primer aspecto que interesa es el uso de materiales y partículas nanométricos en relación con la industria minera. Siendo el productor de platino y oro más grande del mundo, hay un interés muy generalizado por utilizar la nanotecnología para ampliar los usos específicos de los minerales. Según una encuesta reciente, hay en Sudáfrica cinco microscopios de fuerza atómica.

### Una medida de la capacidad del Sur en ciencias nanométricas

Veeco Metrology mantiene el 90 por ciento del mercado mundial en la fabricación y venta de microscopios de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) de alta resolución, y de los nuevos microscopios de barrido por sondeo (SPM por sus siglas en inglés). Estos instrumentos sofisticados se han convertido en “los básicos de la investigación” para la imagenología atómica y las mediciones moleculares. El precio de un microscopio de fuerza atómica, el más sencillo, es de unos 175 mil dólares.

### Distribución mundial de los microscopios de fuerza atómica



\* La información de Sudáfrica proviene de la South African Nanotechnology Initiative.  
Fuente: Digital Instruments, división de Veeco Metrology.

## NANO GUARDAS: los grupos de la sociedad civil que supervisan las nuevas tecnologías

La lista de organizaciones de la sociedad civil y otros organismos no gubernamentales que supervisan las tecnologías atómicas no es larga. Esto no significa que muchos grupos no cuenten con archivos abiertos acerca de las actividades relativas a la nanotecnología, pero muy pocos han publicado su información. Son todavía menos los grupos que cuentan con estrategias de acción social. Esto va a cambiar. A continuación se describen algunos de los actores actuales.

**Grupo ETC:** Este grupo (anteriormente conocido como RAFI), es una organización internacional de la sociedad civil con sede en Winnipeg, Canadá. El Grupo ETC (se pronuncia etcétera) se dedica a la promoción sustentable de la diversidad cultural y ecológica, y a los derechos humanos. Con este fin, el Grupo ETC apoya los desarrollos tecnológicos socialmente responsables, que sean de utilidad a los pobres y los marginados, y aborda asuntos relativos a la gobernanza —control de los gobiernos desde la sociedad— particularmente aquellos que afectan a la comunidad internacional. ETC monitorea también la propiedad y el control de las tecnologías y la consolidación del poder corporativo. Las publicaciones del Grupo ETC están disponibles en la red electrónica.

[www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)

**Foresight Institute:** Fundado por uno de los gurús de la nanotecnología, κ. Eric Drexler, y dirigido por Christine Peterson, el instituto tiene su sede en Palo Alto, California. Esta agrupación es la fuente más antigua de la amplia discusión social y científica sobre el impacto potencial de las tecnologías atómicas. Pese a estar decididamente en favor del avance nanométrico, el Foresight Institute sí alerta en torno a asuntos relacionados con la propiedad intelectual y el ambiente, que están implícitos en esta nueva serie de tecnologías (para mayor información ver “Nano-Set” en la sección de *Fuentes y recursos* de este informe).

[www.foresight.org](http://www.foresight.org)

**The International Center for Bioethics, Culture and Disability** El sitio electrónico de este centro proporciona un mundo de información en torno a la bio ética y las “discapacidades”, incluidos varios *links* con documentos relacionados con la tecnología atómica. El doctor Gregor Wolbring, un bioquímico de la Universidad de Calgary, y fundador del centro, es autor de numerosos textos y ofrece con su visión un análisis crítico muy necesario para entender las implicaciones de la tecnología atómica y la convergencia de tecnologías que pretenden “mejorar” el desempeño humano. Wolbring alerta que el énfasis puesto en el mejoramiento del desempeño humano tiene como motivación la búsqueda de una serie de tecnologías que den tratamiento o erradiquen todo aquello que se percibe como “defectos” humanos, en lugar de abordar la necesidad de impulsar soluciones sociales —aceptación, respeto y derechos humanos. Los artículos del doctor Wolbring son una de las contribuciones más importantes incluidas en el controvertido borrador del informe del gobierno estadounidense, en torno al mejoramiento del desempeño humano.

El Centro tiene como propósito:

- examinar los aspectos culturales de la bio ética, la ciencia y la tecnología
- examinar los impactos de los aspectos bio éticos, la ciencia y la tecnología sobre todos lo que son marginados
- asegurar que aquellos que son marginados tengan una voz en todos los debates que afecten sus vidas
- ayudar a que todos los que son marginados participen en los debates que afecten sus vidas
- aumentar la capacidad de entendimiento y aceptación entre aquellos que no son marginados, de los puntos de vista de los que sí lo son

[www.bioethicsanddisability.org](http://www.bioethicsanddisability.org)

**The Institute for Science in Society** Fundado en 1999, este instituto, con sede en Londres, y conocido por sus siglas en inglés (ISIS), es una organización cuyo compromiso no se basa en la remuneración y que trabaja en favor de la responsabilidad social y de las aproximaciones sustentables en el campo científico. ISIS promueve un entendimiento público, crítico, y busca involucrar a los científicos y al público en un debate y una discusión abiertos. La directora ejecutiva es la doctora Mae Wan Ho, que es autora de muchos textos que ofrecen un análisis crítico de la tecnología atómica. Todas las publicaciones de ISIS se encuentran disponibles en la red electrónica:

[www.i-sis.org.uk](http://www.i-sis.org.uk)

**The Science and Environmental Health Network (SEHN)** Fundado en 1994 por un consorcio de organizaciones ambientalistas de América del Norte, SEHN se preocupa por la aplicación sensata de la ciencia y por la protección del ambiente y la salud pública. SEHN es uno de los principales promotores, en Estados Unidos y Canadá, de un principio precautorio como la base de una política de salud pública y medio ambiente.

[www.sehn.org](http://www.sehn.org)

## Notas

- <sup>1</sup> Según Ed Niehaus, Consultor, Foresight Conference, 10 de octubre de 2002.
- <sup>2</sup> Anónimo, “Designer Plastics”, *The Economist*, 8-15 de diciembre, 2001, p.28.
- <sup>3</sup> Ann Thayer, “Nanotech Meets Market Realities”, *Chemical & Engineering News*, p.17.
- <sup>4</sup> Este resumen de la investigación nano tecnológica en Japón se basa en buena medida en MC Roco, “Research Programs on Nanotechnology in the World”, *Nanostructure Science and Technology: A Worldwide Study, 1999*. A menos que se indique otra cosa, todos los datos relativos a la inversión japonesa en nanotecnología provienen de este informe.
- <sup>5</sup> Kyiodo News Service, 29 de marzo de 2001.
- <sup>6</sup> Anónimo, “Nanotech Boom Holds Potential of Japan Surging into Lead”, *The Nikkei Weekly*, 26 de febrero de 2001.
- <sup>7</sup> Jiji Press Ltd, 20 de febrero de 2001.
- <sup>8</sup> Doug Brown, “Congressmen say More nano Money is an Investment in America’s Future”, *Small Times*, 14 de mayo de 2002. Disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>9</sup> Anónimo, “Senator Introduces Bill to Create Permanent Federal Nano Agency”, 18 de septiembre de 2002. [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>10</sup> Jeff Karoub, “Funding Forecast Looks Good for US Nanotechnology”, *Small Times*, septiembre/octubre de 2002, p. 15. CORDIS, o servicio de información sobre investigación y desarrollo de la Comisión Europea, mantiene un sitio electrónico que detalla los avances del sexto programa de marcos de referencia (2002-2006), e incluye anuncios de recepción de propuestas y programas de trabajo. En la red electrónica puede hallarse esta información en: [europa.eu.int/comm/research/fp6/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.html)
- <sup>11</sup> CMP Científica, “Nanotechnology Opportunity Report”, marzo de 2002, según el resumen de Eric Pfeiffer, “Nanotech Reality Check: New Report Tries to Cut Hype, Keep Numbers Real”, *Small Times*, 11 de marzo de 2002 (Ver cita de pie de página 1, Sección Uno).
- <sup>12</sup> Jeff Karoub, “Funding Forecast Looks Good for US Nanotechnology”, *Small Times*, septiembre/octubre, 2002, p.15.
- <sup>13</sup> Tomado del informe: “An International Prospective Meeting of French Senate”, reunión del Senado francés que se llevó a cabo el 20 de junio de 2002, [www.nano.org.uk/senate.pdf](http://www.nano.org.uk/senate.pdf)
- <sup>14</sup> Ver Nano Australia: [www.nanotechnology.com.au/astrialiatoryday.htm](http://www.nanotechnology.com.au/astrialiatoryday.htm)
- <sup>15</sup> Disponible en la red electrónica: [nanodot.org/article.pl?sid=01/12/27/2219252](http://nanodot.org/article.pl?sid=01/12/27/2219252)
- <sup>16</sup> Patrick Lawnham, “Unis go for Big-Picture Microscopes”, 4 de noviembre de 2002. Disponible en la red electrónica: [australianit.com.au](http://australianit.com.au)
- <sup>17</sup> Anónimo, “Taiwan to Invest US\$ 667 Million on Nanotechnology Applications”, *Asia Pulse* on-line, 19 de septiembre de 2002.
- <sup>18</sup> Anónimo, “NSC Nanotech lab in Southern Taiwan to be Inaugurated”, *Asia Pulse* on-line, 17 de septiembre de 2002.
- <sup>19</sup> Anónimo, “Taiwan Has Strong Nanotechnology Potential: ITRI”, *Taiwan Economic News*, 28 de marzo de 2002.
- <sup>20</sup> Anónimo, “Taiwan Nanotechnology Industry Expected to be Prosperous”, *Asia Pulse* on-line, 10 de mayo de 2002.
- <sup>21</sup> Anónimo, “Trade Delegation in Germany to Promote Investment in Taiwan”, *Asia Pulse* on-line, 19 de junio de 2002.
- <sup>22</sup> Tomado de varias notas incluidas en *Small Times* on-line, 12 de marzo de 2002; 8 de julio de 2002; 19 de julio de 2002. [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>23</sup> Anónimo, “Biotech, Nanotech Hold Huge Promise”, *The Nikkei Weekly*, 27 de mayo de 2002.
- <sup>24</sup> Anónimo, “China Designates Shanghai Center of Nanotech Industry”, *Xinhua News Agency*, 7 de agosto de 2001
- <sup>25</sup> Jen Lin-Liu, “China, Emboldened by Breakthroughs, Set out to Become Nanotech Power”, *Small Times*, 17 de diciembre de 2001. Disponible en la red electrónica: [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)
- <sup>26</sup> *Ibid*
- <sup>27</sup> James Bernstein, “Veeco to Open China Facility; Beijing site to Focus on Nanotechnology”, *Newsday*, Nueva York, 4 de septiembre de 2002.
- <sup>28</sup> NEASIA Online, “Singapore Backs Nanotechnology Business”, primero de julio de 2002, disponible en la red electrónica: [www.nikkeibp.asiabiztech.com/wcs/leaf?CID=onair/asabt/cover/193861](http://www.nikkeibp.asiabiztech.com/wcs/leaf?CID=onair/asabt/cover/193861)
- <sup>29</sup> Información derivada del Asian Technology Information Program, *ATIP Report Summary*, AT102.021A, disponible en la red electrónica: [www.atip.org](http://www.atip.org)
- <sup>30</sup> Samar Halarnkar, “Nanotechnology: The God of Small Things”, *Financial Express*, 2 de septiembre de 2002.
- <sup>31</sup> La información se apoya en informes disponibles en la red electrónica: [www.atip.org](http://www.atip.org)
- <sup>32</sup> M. Terrones, *et al.*, “Molecular Junctions by Joining Single-Walled Carbon Nanotubes”, *Physical Review Letters*, volumen 89, número 12, agosto de 2002.
- <sup>33</sup> Comunicación personal con el doctor Humberto Terrones Maldonado, Jefe de Ciencia en Materiales Avanzados, del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.
- <sup>34</sup> Comunicación personal con el doctor Henrique E. Toma, Instituto de Química de la Universidad de São Paulo, 17 de septiembre de 2002.
- <sup>35</sup> Si se quiere acceder a más información sobre la nanotecnología en Brasil, consúltese [www.renami.com.br](http://www.renami.com.br) (en portugués).
- <sup>36</sup> Comunicación personal con Manfred Scriba, Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Sudáfrica, por correo electrónico, 18 de octubre de 2002.

La nanotecnología  
nos otorga las herramientas  
para experimentar  
con la más vasta caja de juguetes  
—los átomos y las moléculas.  
Todo está hecho a partir de ahí...  
La posibilidad de crear cosas nuevas  
parece ilimitada.

Horst Störmer  
*Premio Nobel de Física, 1998*<sup>1</sup>



## Conclusiones y recomendaciones de políticas públicas

### NUESTRO FUTURO CONVERGENTE

El ámbito de las ciencias nanoescalares es prácticamente inimaginable para la mayoría de nosotros y, no obstante, el amanecer de la tecnología atómica no es asunto minúsculo.

El arribo de la tecnología atómica es enormemente significativo porque nos brinda un potencial sin precedentes para controlar y manipular toda la materia —la viva y la inerte. La tecnología atómica es el gran posibilitador —nos ofrece acceso a un nuevo ámbito: un campo de juego molecular donde convergen los bloques de construcción de poderosas técnicas. Una vez en posesión de instrumentos que nos permitan controlar y manipular la materia, nos encontraremos en posición de explotar e integrar tecnologías, incluida la biotecnología, la informática, las ciencias cognitivas y otras más.

El análisis del Grupo ETC revela que, incluso ante un ambiente financiero tan inestable como el actual, donde los veleidosos inversionistas desdeñan las acciones relativas a la alta tecnología, la metodología atómica obtiene una masa crítica de inversiones, innovación y entusiasmo que impulsa la conversión de las ciencias nanométricas en tecnología real, viable, que tiene entrada en el mercado.

Así, hallamos que:

- Las herramientas que nos permiten explotar la tecnología atómica —ver y manipular materiales nanoescalares —avanzan rápidamente.
- A nivel global, fluyen miles de millones de dólares hacia la investigación básica. Más de 30 gobiernos nacionales lanzaron ya iniciativas relativas a las ciencias nanométricas y habrá más.
- Un espectro impresionante de las 500 compañías de *Fortune* está alimentando investigación y desarrollo relacionados con tecnología atómica, al interior de sus empresas.
- Los emprendedores de la tecnología atómica lanzan ya compañías de innovación, y aquellos capitalistas ávidos de riesgo muestran interés concreto.
- Crece el número de patentes y de artículos científicos relacionados con lo nanométrico.

Quienes impulsan la tecnología atómica nos dicen que estamos a punto de una nueva revolución industrial —una nueva economía de fabricación, con potencial para transformar la manera en que vivimos, comemos, trabajamos, hacemos la guerra y definimos la vida. Según algunos voceros de la industria, la tecnología atómica disparará un nuevo renacimiento económico que combina el sueño de la abundancia material, el desarrollo sustentable y la ganancia.

Pero la historia sugiere un escenario diferente. En las últimas décadas hemos sido tes-



### Nota

<sup>1</sup> Citado en “Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom”, disponible en la red electrónica: [www.nano.gov](http://www.nano.gov)

tigos de la privatización de la ciencia y de una concentración insoportable del poder en manos de empresas multinacionales gigantes. En el pasado más remoto, las revoluciones industriales, por lo menos en sus inicios, han agudizado la pobreza. Reconociendo esta realidad preguntamos: ¿Quiénes controlarán la tecnología atómica? ¿Quiénes determinarán el programa y el calendario de investigación y quiénes serán los beneficiados de la convergencia de tecnologías? ¿Cómo pueden la sociedad civil y los gobiernos comenzar a afrontar los impactos potenciales socio económicos, ambientales y de salud que entraña la tecnología atómica, sin desalentar la exploración —en condiciones de seguridad— de sus posibilidades benéficas? Dado que la historia nos confiere pocas claves y ningún modelo de trabajo, la sociedad civil debe tomar la iniciativa.

**UNA CONVERGENCIA DE ORGANIZACIONES DE LA SOCIEDAD CIVIL:** La manipulación nanoescalar es la fuerza unificadora de las tecnologías convergentes. ¿Proporcionará también una plataforma que unifique a la sociedad civil en su entendimiento y maneras de afrontar esta convergencia en ciernes? La economía futura, modificada por el creciente interés en lo atómico, ofrece un piso común para quienes promueven y trabajan en los campos de la biotecnología, los tóxicos, la salud pública, los derechos de los trabajadores, la seguridad alimentaria, la agricultura sustentable, los derechos de los “discapacitados”, la energía alternativa, la oposición a la energía nuclear, a las armas químicas, biológicas y nucleares. Todas estas áreas serán afectadas potencialmente por las manipulaciones nanoescalares. Todo esfuerzo por entender y afrontar las implicaciones de la tecnología atómica requerirá la participación (y cooperación) de diversas organizaciones y comunidades.

**EMPRENDER CAMINO:** El Principio de Precaución es una aproximación sencilla y sensata ante la tecnología atómica. El Principio de Precaución señala que los gobiernos tienen la responsabilidad de tomar acciones preventivas para evitar daños a la salud humana o al ambiente, antes de que se haya establecido una certeza científica de daño alguno. Bajo el Principio de Precaución, es el proponente de una nueva tecnología quien debe asumir la carga de ofrecer pruebas, no el público. Aunque, sobre todo en Europa, ha ganado aceptación considerable la idea de un Principio de Precaución, no es todavía algo universalmente definido ni suscrito.

Para instrumentar una aproximación precautoria, la sociedad civil y los gobiernos deben comenzar a formular el marco de referencia regulatorio y social necesario para guiar la evaluación —y donde sea pertinente, la introducción— de nuevas tecnologías. El proceso debe ser transparente, democrático, y debe involucrar a todos aquellos que puedan ser afectados, adversamente, por estas tecnologías. Por desgracia, estas condiciones no existen todavía.

Por lo tanto, el Grupo ETC expresa las siguientes recomendaciones de política pública:

- Hasta el momento, los organismos reguladores de los países de la OCDE no han establecido ni política ni protocolo alguno que tomen en consideración el *paso uno* de la tecnología atómica, que implica la existencia de nano partículas en productos que ya están en el mercado, y nuevas formas nanométricas del carbono. En esta etapa, no sabemos prácticamente nada del impacto potencial acumulativo —sobre la salud y el ambiente— de las partículas nanoescalares fabricadas por humanos. Debido a las preocupaciones expresadas en torno a la posible contaminación de organismos vivos con nano partículas, el Grupo ETC propone que los gobiernos declaren, de inmediato, una moratoria sobre la producción comercial de los nuevos nano materiales y activen un proceso transparente, global, de evaluación de las implicaciones socio económicas, ambientales y de salud, de la tecnología.

- En el futuro, el espectro de la fabricación molecular entraña enormes riesgos ambientales y sociales y no debe proseguir —ni siquiera en el laboratorio— en ausencia de un entendimiento y una evaluación, amplios, por parte de la sociedad.
- Las tecnologías emergentes requieren una evaluación científica, socio económica, por parte de la sociedad, de modo que los gobiernos hagan decisiones informadas en torno a sus riesgos/beneficios y a su valor último. Con este propósito, el Grupo ETC propone el desarrollo de una Convención Internacional para la Evaluación de Nuevas Tecnologías (CIENT). Hay también la urgencia de desarrollar mecanismos de evaluación de tecnologías emergentes, a nivel local y nacional, que posibiliten que los ciudadanos participen en debates abiertos e informados.
- A principios de la década de los noventa del siglo XX, el Sistema de Naciones Unidas perdió su capacidad para monitorear con eficacia a las corporaciones multinacionales y evaluar así, con precisión, las nuevas tecnologías. El centro de corporaciones transnacionales de Naciones Unidas se desintegró, y el centro de ciencia y tecnología para el desarrollo, de la misma organización, se destripó. La pérdida de estas dos vitales y menospreciadas agencias fue equivalente a una lobotomía frontal de la comunidad inter gubernamental, sobre todo para los países del Sur. Durante los noventa, las fusiones corporativas globales incrementaron siete veces (de menos de medio billón de dólares anuales a 3.4 billones de dólares) y las acciones correspondientes a alta tecnología se sextuplicaron (creciendo de un 5 por ciento a un 30 por ciento en su valor accionario), algo que ocurrió durante el boom más grande que haya sufrido la tecnología desde que se hizo la primera oferta pública de las acciones del Jardín del Edén.

El Grupo ETC recomienda que la asamblea general de Naciones Unidas establezca un nuevo “centro de comercio y tecnología”, con un mandato mucho más amplio, y los recursos necesarios para monitorear, informar y asesorar al público en general en torno el contexto tecnológico y de mercado en el que se mueve el poder corporativo, con especial escrutinio de sus impactos sociales.

## Evaluación ETC

### Leyes de la introducción de una tecnología

1. Comprender las ramificaciones de una nueva tecnología requiere el lapso de una generación humana completa. Como tal, cualquier decisión de por qué sí o por qué no utilizar una tecnología nueva, será necesariamente ambigua. Es así que la sociedad debe guiarse por el Principio de Precaución.
2. Para evaluar una nueva tecnología, las primeras preguntas deben ser: Quién es el propietario, quién la controla. Para quiénes fue diseñada y a quiénes beneficia. Quién tiene el papel de decidir su introducción (o no). ¿Hay otras alternativas? ¿Es ésta la mejor manera de lograr un objetivo particular? En el caso de daños, en quién recae la responsabilidad y cómo puede saberse que la tecnología en cuestión tiene algo que ver.
3. Valorar qué tan benéfica o perjudicial es una tecnología para la sociedad, requiere que la sociedad participe en la evaluación de la misma —y dicha participación debe incluir, especialmente, a las personas más vulnerables.
4. Una nueva tecnología no puede considerarse definitivamente como “positiva”, “negativa” o “neutra”, aunque ciertas tecnologías —en un ambiente equitativo— puedan ser intrínsecamente descentralizadoras, democratizantes y provechosas.
5. Por cada uno de los *Juditas* que intentan establecer controles sociales ante la introducción de una nueva tecnología, existe una poderosa élite que hace uso del control social para imponerle a la gente una nueva tecnología.
6. No es inevitable la introducción de una nueva tecnología.
7. Una nueva tecnología, introducida en una sociedad que no sea en sí misma una sociedad justa, exacerbará la brecha entre ricos y pobres, y puede dañar directamente a los pobres.
8. Una nueva tecnología no puede resolver una vieja injusticia. El hambre, la pobreza, la desintegración social y la degradación ambiental son consecuencia de sistemas inequitativos —no de tecnologías inadecuadas.
9. Aquellos líderes de una sociedad que permite la injusticia, son menos propensos a introducir una nueva tecnología que corrija tal injusticia.

## F U E N T E S   Y   R E C U R S O S

---

## APÉNDICE A

### La red de lo “nano”

#### [www.apnf.org](http://www.apnf.org)

El Asia Pacific Nanotechnology Forum (APNF), es una organización de tejido de redes que centra su esfuerzo informativo en el desarrollo de la tecnología atómica en los países del área del Pacífico. Su propósito expreso es impulsar un flujo informativo entre quienes desarrollan nanotecnología y los inversionistas, facilitando la coordinación de programas y colaboraciones regionales entre quienes elaboran políticas públicas, a nivel gubernamental, y las principales instituciones de investigación y desarrollo. La APNF es anfitriona de una conferencia/foro anual y efectúa una reunión trimestral sobre nanotecnología para los miembros del foro. Cada una de estas reuniones se lleva a cabo en una ciudad diferente de la región del Pacífico asiático. APNF produce también un boletín trimestral. Esta institución recibe apoyo gubernamental y de la industria. APNF es una organización de miembros (las cuotas van de los 120 dólares para individuos a los 5 mil dólares para las corporaciones), pero ser parte de la comunidad de la APNF significa que uno “se codea con los más influyentes líderes de la nanotecnología mundial”, según reza su sitio electrónico. Existen en la página electrónica de la APNF informaciones útiles, noticias y avisos de eventos relacionados con la tecnología atómica en el Pacífico asiático, accesibles a quienes no son miembros.

#### [www.acronym.org.uk/dd](http://www.acronym.org.uk/dd)

*Disarmament Diplomacy*, publicada desde enero de 1996, es la revista sucesora de *Nuclear Proliferation News*, y está disponible en la red electrónica. Esta revista —que publica el Simons Center for Peace and Disarmament Studies en el Liu Institute, en Vancouver, Canadá—, disemina investigaciones y análisis cruciales en torno a los peligros que entraña la utilización de tecnologías atómicas en el refinamiento de las armas de destrucción masiva (ADMs) actuales, y en el desarrollo de una nueva categoría de ADMs. El número de julio/agosto de 2002 de *Disarmament Diplomacy* incluyó un artículo titulado “Nanotechnology and Mass Destruction: The Need for an Inner Space Treaty” (*la nanotecnología y la destrucción masiva: la urgencia de un tratado del espacio interior*), que urge a la comunidad internacional a que adopte un tratado que proteja al planeta de la devastación ocasionada por estructuras artificiales y moleculares. El número de octubre/noviembre de 2002 presentó un artículo sobre investigaciones estadounidenses acerca del uso de tecnologías atómicas en el desarrollo de armas nucleares de cuarta generación.

#### [www.foresight.org](http://www.foresight.org)

Foresight es una organización no lucrativa, fundada por K. Eric Drexler y Christine Peterson, y su misión es ayudar a preparar a

la sociedad para las nanotecnologías futuras. Desde 1989, el *Foresight Institute* ha patrocinado conferencias sobre nanotecnología, y se centra especialmente en la manufactura molecular. Cuenta con un archivo “en línea”, donde están disponibles las conferencias de Foresight correspondientes a 2000-2001. Foresight publica un boletín trimestral, *Foresight Update*, que nos refiere a los avances técnicos y no técnicos de la tecnología atómica. *Update* está disponible en la red electrónica y está diseñada para públicos amplios. Foresight mantiene un sitio electrónico de discusión y noticias, [www.nanodot.org](http://www.nanodot.org), a cargo del Institute for Molecular Manufacturing (IMM), [www.imm.org](http://www.imm.org), una fundación no lucrativa formada en 1991 para efectuar investigación que impulse las tecnologías de manufactura molecular. IMM promueve también guías de acción para las prácticas de investigación y desarrollo, en un intento por minimizar los peligros provenientes de los manejos accidentales o del abuso en la práctica de la nanotecnología molecular. Las guías de acción relativas a la nanotecnología molecular del Foresight Institute (The Foresight Guidelines on Molecular Nanotechnology) disponibles en [www.foresight.org/guidelines/current/html/#Principles](http://www.foresight.org/guidelines/current/html/#Principles), son una lectura fuerte y sugerente y brindan indicaciones precisas en caso de las posibles eventualidades implicadas en la investigación relacionada con la maquinaria nanométrica auto replicable.

#### [www.nano.org.uk](http://www.nano.org.uk)

ION, Institute of Nanotechnology, es una organización sin fines de lucro, registrada como institución de asistencia, en el Reino Unido. Se estableció en 1997 “para dar luz al creciente interés por la nanotecnología, alentar nuevas investigaciones y mantener alerta al público en torno a los desarrollos en el campo”. La mayor parte de las actividades del Instituto ocurren en su sitio electrónico, donde se coloca información relativa a conferencias, desarrollos técnicos, seminarios y otros eventos internacionales. Los miembros reciben regularmente un boletín de tecnología atómica a través del correo electrónico. Las ofertas más interesantes del sitio se restringen (estudios de caso acerca de empresas, informes, país por país) y sólo los miembros “profesionales” y los “corporativos” tienen acceso a ellas; el nivel “asociado” es gratis.

#### [www.nano.gov](http://www.nano.gov)

El sitio electrónico de la iniciativa nacional en nanotecnología, del gobierno de Estados Unidos, proporciona información importante del gasto gubernamental en tecnología atómica. Esto incluye presupuestos particulares de algunas instancias del gobierno. Bajo el rubro “Información en investigación y desarrollo” (*information on R&D*), existe un *link* con la Nanotechnology Da-

tabase, [itri.loyola.edu/nanotechnology\\_database](http://itri.loyola.edu/nanotechnology_database), base de datos operada desde el Loyola College, en Maryland. Esta “nano base”, es tal vez la más completa fuente estadounidense acerca de la tecnología atómica, disponible en la red electrónica: proporciona vínculos electrónicos con los centros de investigación más importantes, agencias de financiamiento, informes y libros importantes. También proporciona un *link* con el folleto introductorio producido por el gobierno (en formato pdf), que se pretende para el gran público: [www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure](http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure)

#### [www.nanoapex.com](http://www.nanoapex.com)

NanoApex informa acerca del desarrollo de dos tecnologías emergentes: nanotecnología/MEMS (sistemas micro electro mecánicos) e Inteligencia Artificial. NanoApex es un medio informativo y una compañía de investigación que proporciona, desde su sitio electrónico, noticias actuales, información relativa a la investigación y otros recursos vinculados con la tecnología atómica. En agosto de 2002, NanoApex adquirió Atomasoft Corporation (que tiene un lema inquietante y premonitorio “la materia se tornará software”). El sitio electrónico de NanoApex proporciona vínculos con una galería de imágenes, con un glosario y con información sobre libros, eventos y compañías, todos relacionados con la tecnología atómica. NanoApex posee también *NanoInvestorNews*, [nanoinvestornews.com](http://nanoinvestornews.com), un sitio que cuenta con noticias dirigidas a los inversionistas en tecnología atómica y que mantiene una base de datos de las compañías involucradas en el área. *NanoInvestorNews* ofrece un “módulo de países”, que brinda información de las actividades relativas a la tecnología atómica, organizada por países. Es requisito registrarse para acceder a algunos de los recursos, pero hasta septiembre de 2002 no había cuota de registro. Un cúmulo de noticias generales y específicas relativas a la tecnología atómica están disponibles vía NanoApex, en [news.nanoapex.com](http://news.nanoapex.com), a donde los lectores pueden también enviar comentarios. Hay un cierto traslape entre los tres sitios electrónicos de NanoApex, pero las nuevas ofertas son frecuentes (la mayoría de las veces hay varias diarias) y las noticias son abarcativas.

#### [www.nanobusiness.org](http://www.nanobusiness.org)

NanoBusiness Alliance es un grupo de comercio, con sede en Estados Unidos, dedicado a alimentar la industria de la tecnología atómica. Creada a mediados de 2001, está a la caza de nuevas membresías y lucha por ser reconocida como mediador de la industria, y como su administrador de medios de comunicación. NanoBusiness Alliance afirma que su misión es “crear una voz colectiva para el desarrollo de la tecnología de lo pequeño y las industrias nano tecnológicas, mediante el desarrollo de un rango de iniciativas que den apoyo a la comunidad de negocios relacionados con la tecnología de lo pequeño”. Los informes de la Alianza son resultado de investigaciones de mercado (incluyen datos de patentes) y conllevan miles de dólares.

#### [www.phantomsnet.com](http://www.phantomsnet.com)

La red Phantoms recibe fondos de la Comisión Europea y se centra en el desarrollo de la nano electrónica. Para septiembre de 2002, la red contaba con 176 grupos inter disciplinarios de investigación (del gobierno, universidades e industria) de 22 diferentes países europeos, junto con pequeños grupos de Estados Unidos, Canadá, Japón e India. El sitio electrónico de Phantoms ofrece noticias internacionales relacionadas con la nano electrónica (sigan el *link* “nano news”, bajo el rubro *general info*); el sitio proporciona un resumen de los proyectos de investigación europeos (sigan el *link* “European projects” bajo el rubro *resources*) y vínculos electrónicos con compañías estadounidenses, laboratorios, instituciones de investigación y redes (sigan el *link* “useful links”, bajo el rubro *resources*). Para obtener más información general acerca de la investigación científica europea, remítanse a la dirección electrónica del Community Research & Development Information Service: [www.cordis.lu](http://www.cordis.lu). Desde la página de CORDIS, hagan click en el *link* “Databases and Web Services” para husmear en cerca de una docena de bases de datos relacionadas con la investigación científica europea —incluidas bases de datos de proyectos, informes, documentos oficiales estadounidenses e incluso un diccionario de siglas y acrónimos.

#### [www.smalltimes.com](http://www.smalltimes.com)

Small Times es “la primera compañía de medios dedicada por entero a la creciente industria de los MEMS [microelectrical mechanical systems] o sistemas micro electro mecánicos (SMEM), micro sistemas y nanotecnologías”. Proporciona cobertura noticiosa cotidiana y archivos rastreables que incluyen búsquedas de información sobre patentes, mediante palabras clave. Small Times promueve el desarrollo de las tecnologías atómicas. Es un recurso útil debido a su vasto rango de noticias. Small Times publica también un *journal* bimestral impreso.

#### [www.technologyreview.com](http://www.technologyreview.com)

*Technology Review* es un *journal* publicado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) que busca promover “el entendimiento de la tecnología emergente y su impacto en el mundo”. La revista se centra en “el proceso por el cual una nueva tecnología sale del laboratorio para ingresar al mercado”. Los artículos presuponen un conocimiento básico de las tecnologías atómicas y pueden profundizarse científicamente, pero en general son accesibles al lector común y corriente. El sitio electrónico pone a la disposición del público algunos artículos útiles acerca de la investigación y el desarrollo de la nanotecnología, pero reserva una gran porción de su contenido (incluyendo el registro de las patentes otorgadas a universidades y corporaciones) para los suscriptores que pagaron su membresía.

## APÉNDICE B

### Nano gramática<sup>1</sup>

**Átomo** Partícula de materia que define de manera definitiva un elemento químico. Consiste de un núcleo rodeado por uno o más electrones. Cada electrón tiene carga negativa; el núcleo tiene carga positiva y contiene partículas conocidas como protones y neutrones.

**Auto ensamblaje** Método de integración en el cual los componentes se ensamblan espontáneamente. Lo común es que se les agite en una solución, o estando en fase gaseosa, hasta alcanzar una estructura estable de energía mínima. Los componentes de las estructuras auto ensambladas encuentran su equilibrio apropiado con base en sus propiedades estructurales, exclusivamente (o de sus propiedades químicas si se trata de un auto ensamblaje atómico o molecular). La fuerza que impulsa este proceso es el diferencial de energía entre el estado inicial y el final.

**Buckyball** Su nombre completo es buckminsterfullereno (comúnmente conocido como fullereno) en honor al arquitecto (Buckminster Fuller) que inventó el domo geodésico. Descubiertos en 1985 por Robert Curl, Harold Kroto y Richard Smalley, los fullerenos o *buckyballs* están formados por sesenta átomos de carbono dispuestos como los hexágonos y pentágonos de un balón de soccer (y no distan mucho de un domo geodésico). En 1996, Curl, Kroto y Smalley compartieron el Premio Nobel de Química por su descubrimiento. Las *buckyballs* son precursoras del **nano tubo**, descubierto en 1991 por Sumio Iijima.

**Cámara limpia** Un espacio donde el monto de partículas del aire (desde las de tamaño visible hasta aquellas en la nano escala) reduce drásticamente de sus niveles cotidianos, y es monitoreado estrictamente. La temperatura y la humedad de una cámara limpia también se controlan, permitiendo la construcción y el análisis de estructuras y dispositivos nanométricos, sin interferencia de contaminantes.

**Catalizador** Una sustancia capaz de ejecutar catálisis, es decir la aceleración de una reacción química al hacer descender la barrera energética. La definición estricta de catálisis requiere que el catalizador no se vea afectado por la reacción total.

### Nota

<sup>1</sup> Adaptada a partir de glosarios disponibles en la red electrónica y de K. Eric Drexler, *Unbounding the Future*, así como de otras fuentes citadas en las definiciones.

**Compuesto** En general se refiere a cualquier cosa hecha con partes o elementos diferentes. Los nano compuestos son una nueva clase de materiales derivados de la incorporación de partículas nanoescalares a los **polímeros**.

**Ensamblador** Dispositivo químico que, dados ciertos materiales atómicos o moleculares que sirven de base, puede producir una estructura molecular específica. K. Eric Drexler considera que el trabajo de **Manufactura molecular** será ejecutado por ensambladores.

**Informática** Las herramientas de *software* que permiten a los científicos capturar, organizar y analizar datos de información.

**Manufactura molecular/nanotecnología molecular** Método para crear productos mediante maquinaria molecular, permitiendo un control, molécula por molécula, de productos y sucedáneos por medio de una síntesis posicional química.

**Mecánica cuántica** Un sistema de mecánica basado en la teoría cuántica, que explica los fenómenos observables a niveles atómicos (<50 nm), fenómenos que difieren de aquellos que observamos en escalas mayores.

**Micra, o micrómetro** Es la milésima parte de un milímetro, es decir, mil nanómetros.

**Microscopio de Barrido por Sondeo** (*Scanning Probe Microscope*) Término general para referirnos al barrido de una punta con forma de aguja que cruza la superficie de una muestra creando una imagen gráfica de los contornos de la misma.

**Microscopio de Barrido en Túnel, MBT** (STM por sus siglas en inglés: *Scanning Tunneling Microscope*) Microscopio que dispone una punta en forma de aguja por encima de una superficie conductora de electricidad, casi tocándola. La punta y la superficie están conectadas eléctricamente de tal modo que una corriente fluirá si se relacionan, como ocurre cuando se cierra un interruptor. Fluye entonces una corriente detectable cuando tan sólo dos átomos se ponen en tenue contacto, uno en la superficie y otro en la punta de la aguja. Si con delicadeza se maniobra la aguja sobre la superficie, manteniendo constante la diminuta corriente que fluye, el microscopio de barrido en túnel puede mapear los contornos de la superficie con gran precisión. Esto es posible por el llamado efecto túnel que ocurre cuando, al aplicar un ligero voltaje, las reglas de la mecánica cuántica hacen que

los electrones salten y fluyan “como en un túnel” atravesando el espacio entre la punta y la muestra. Pese a lo diminuto de este flujo de electrones “en túnel”, éste puede detectarse fácilmente. El MBT fue desarrollado en Zurich, Suiza, en los laboratorios de IBM, en los setenta y ochenta del siglo XX. Puede usarse para “recoger” y relocalizar átomos. Si el voltaje se incrementa cuando la aguja se sitúa justo encima de un átomo, el átomo se pega a la punta; entonces este átomo puede moverse y volverse a colocar mientras permanece pegado en la punta de la aguja; una vez que el voltaje vuelve a su nivel anterior, el átomo se suelta de la punta y queda situado en el punto deseado (K. Eric Drexler, *Unbounding the Future*, pp. 92-94).

**Microscopio de Fuerza Atómica, MFA** (AFM por sus siglas en inglés: *Atomic Force Microscope*). Este es un ejemplo del **Microscopio de Barrido por Sondeo**. Un microscopio de fuerza atómica permite interactuar con la materia en una escala mínima, al nivel de las moléculas. La punta de un MFA está situada al final de un brazo de palanca suspendido, sumamente sensible, y toca la superficie de la muestra que ha de examinarse. La fuerza de contacto es muy pequeña. El MFA registra y mide los minúsculos movimientos ascendentes o descendentes requeridos para mantener una fuerza constante sobre la muestra. La punta “siente” la superficie del modo que un dedo acaricia una mejilla. Debido a que el tacto debe ser delicado, de tal suerte que no se destruya la muestra, se han desarrollado varios diferentes métodos, incluido uno que golpetea gentilmente la muestra a intervalos inimaginablemente breves conforme se mueve por la superficie. El AFM fue un seguimiento del **Microscopio de Barrido en Túnel** y difiere de éste en que hace contacto con el material en vez de basarse en que una corriente eléctrica fluya entre instrumento y muestra, lo que hace posible “ver” materiales no conductores a nivel nanométrico.

**Modelado cuántico** Simulaciones por computadora que permiten a los investigadores predecir cómo van a desempeñarse los materiales en la nano escala. Este desempeño está previsto por las leyes de la mecánica cuántica.

**Molécula** Una colección de átomos que se mantienen unidos por fuertes vínculos. Por lo común se refiere a una partícula con un número lo suficientemente reducido de átomos, de tal suerte que pueden contarse (de unos cuantos a unos pocos miles).

**Nano** Del griego *nanos* que significa enano. Este prefijo está destinado a ser el más popular del siglo XXI. Su uso es a veces excesivo. Lo *nano* implica la escala del nanómetro, la millonésima parte del milímetro.

**Nanómetro (nm)** Medida igual a la millonésima parte del milímetro. En inglés puede uno encontrar referencia a que es la “billonésima” parte del metro. En el uso del idioma inglés, el “billón” es en realidad mil millones, según su uso en todo el sistema métrico decimal. Entonces el nanómetro sería la mil millonésima parte del metro. Preferimos la definición, más directa, que lo vincula al milímetro, la medida más pequeña del uso corriente del dicho sistema métrico.

**Nano partícula** Un pedazo pequeño de materia, formado por un elemento individual o un compuesto simple, o mezcla de elementos, por lo común menor a los cien nanómetros de diámetro. El término puede referirse a un amplio rango de materiales, incluyendo la materia particulada que se expela del escape de un carro. En este documento nos referimos a una industria que se ha desarrollado a lo largo de la última década, con el fin de fabricar un rango de partículas, todas nanoescales, que muestran las propiedades deseables. Un compuesto creado mediante la química tradicional tendrá una serie de propiedades comunes. Si ese mismo compuesto se somete a ingeniería para formar nano partículas, puede expresar capacidades refinadas o incluso propiedades totalmente nuevas. Las nano partículas pueden ser manufacturadas, en el caso de un compuesto simple, vaporizando un sólido y añadiéndole un gas reactivo para después enfriar las moléculas vaporizadas, que se condensan como nano partículas. También las nano partículas de metal puro pueden configurarse a partir de métodos de evaporación-condensación, pero hoy se desarrollan técnicas más creativas, tales como la extracción del oro nanométrico que se ha quedado atrapado en las plantas de alfalfa.

**Nano tubo** Una molécula cilíndrica que se asemeja al alambre de gallinero enrollado. Los nano tubos pueden fabricarse de diversas sustancias, pero la mayor parte de la investigación en nano tubos se centra en tubos formados por átomos de carbono puro. Los nano tubos de carbono son cien veces más fuertes que el acero, soportan temperaturas de hasta 6 500 grados Fahrenheit y tienen sólo unos cuantos nanómetros de ancho. Si un nano tubo de carbono es enrollado de forma ordenada, como una hoja de papel con sus bordes superior e inferior alineados, actúa como un conductor metálico, y con eficiencia portará corriente eléctrica. Si un nano tubo de carbono se enrolla desalineado, como una camisa mal abrochada, entonces los cambios en sus propiedades eléctricas se asemejan a los de un semi conductor de silicio, en los que una corriente puede bloquearse o dejarse fluir, es decir, prenderse o apagarse. Un transistor requiere nano tubos semi conductores (Kenneth Chang, *New York Times*, 27 de marzo de 2001).



**Polímero** Una sustancia, natural o artificial, formada por largas cadenas de moléculas, derivadas de (o añadiendo) muchas moléculas más pequeñas, o de la condensación de muchas moléculas más pequeñas a las que se les elimina agua, alcohol u otras sustancias. El plástico es el polímero artificial más conocido.

**Plaga gris** Fue Eric Drexler quien introdujo, en 1986, el término en su libro *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. El término original hacía una metáfora extraída de un vocablo coloquial, *goo*, que literalmente se refiere a una sustancia viscosa, o a una mucosidad o moco. Pese a la tentación irreverente de traducir el término como Moco gris, preferimos hacer el término más descriptivo del proceso que entraña. Plaga gris se refiere a la obliteración de la vida que podría resultar de una expansión accidental e incontrolable de ensambladores auto replicables, que en multiplicación geométrica y hasta exponencial, no pararan de replicarse ellos solos. Bill Joy, y otros, nos alertan que los robots miniatura auto replicables, pese a ser invisibles al ojo humano, resultarían una especie de proliferación o “plaga” gris si su multiplicación se saliera de las manos. Incluso hay quien ya propone el despliegue de un ejército de nano máquinas destructivas, o “plaga azul”, como medida para forzar el cumplimiento de ciertas leyes.

**Punto cuántico** Es una partícula nanométrica (de unos cientos a unos miles de átomos) que tiene propiedades ópticas extraordinarias, pues puede remodelarse cambiando su tamaño o la composición de la partícula. Los puntos cuánticos absorben la luz, y pueden re emitirla de inmediato con color diferente. Dicha luz puede entonces “sintonizarse” a cualquier longitud de onda deseada simplemente con cambiar el tamaño del punto. Son de mucha utilidad en el etiquetado biológico común en los diagnósticos y en el desarrollo de medicamentos.

**Química de dendrímeros** Los científicos desarrollan un rango muy amplio de estrategias encaminadas a sintetizar, caracterizar y desarrollar aplicaciones de macro moléculas tridimensionales sintéticas llamadas dendrímeros (llamadas así porque sus estructuras recuerdan a un árbol con ramas [dendrones]). En la última década, la química de dendríme-

ros se ha expandido en forma dramática. Este desarrollo surgió de la aplicación práctica de los dendrímeros a los cartuchos de inyección de tinta de las impresoras, el diagnóstico *in vitro* y los agentes de contraste. Las aplicaciones vislumbradas son más vastas en rango e incluyen su uso en la manufactura de micro electrónica avanzada y en dispositivos de almacenamiento magnético. La capacidad probada de los dendrímeros para alojar moléculas más pequeñas, en cavidades internas o en la superficie, que después pueden soltarse en lento equilibrio, hace de los dendrímeros promisorios agentes de administración de medicamentos, y en la administración lenta, común en perfumería y en herbicidas.

**Replicador** Un sistema capaz de construir copias de sí mismo al proporcionársele la materia prima y la energía necesaria.

**Sistemas Micro Electro Mecánicos** (SMEMs, o MEMs, por sus siglas en inglés, muy usadas en documentos varios) Elementos mecánicos integrados a un sustrato común de silicio (Cuidado, en castellano, por una errónea traducción, se ha popularizado el término silicón. Es el elemento silicio, el que se usa para la fabricación de micro componentes). Los SMEMs son una tecnología relativamente nueva que explota la infraestructura micro electrónica existente para crear máquinas complejas del tamaño de una micra (una micra es la milésima parte de un milímetro, es decir, el equivalente a mil nanómetros. La micra está a la mitad del camino entre el milímetro y el nanómetro. Recordemos que un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro). Estas máquinas tienen muchas aplicaciones, incluido su uso como sensores y en la comunicación.

**Supra molécula** Un sistema de dos o más entidades moleculares unidas u organizadas por medio de interacciones de soldadura inter molecular.

**Tabla de los elementos** Ver Tabla periódica

**Tabla periódica** Una lista completa de todos los elementos químicos conocidos (unos 115 hasta el presente) dispuestos en columnas y renglones de acuerdo a sus propiedades químicas. El químico ruso Dimitri Mendeleev produjo la primera lista en 1869. La lista de Mendeleev anotaba unos 60 elementos.

## El Grupo ETC

### Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración

[www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)

Grupo ETC (conocido como RAFI hasta 2001), es una organización internacional de la sociedad civil con sede en Winnipeg, Canadá. El Grupo ETC (se pronuncia etcétera) se dedica a la promoción sustentable de la diversidad cultural y ecológica, y a los derechos humanos. Con este fin, el Grupo ETC apoya los desarrollos tecnológicos socialmente responsables, que sean de utilidad a los pobres y los marginados, y aborda asuntos relativos a la gobernanza —control de los gobiernos desde la sociedad— particularmente aquellos que afectan a la comunidad internacional. Monitorea también la propiedad y el control de las tecnologías y la consolidación del poder corporativo.

Desde los setenta del siglo XX, el Grupo ETC ha conducido investigaciones pioneras, campañas de educación y acción social sobre aspectos que involucran la biodiversidad agrícola, la propiedad intelectual y los sistemas de saberes comunitarios. Hemos sido críticos activos contra la propiedad intelectual (el sistema de patentes), en especial en lo que se relaciona con lo vivo. En los ochenta y noventa, nuestro trabajo se expandió, abarcando entonces las preocupaciones existentes en torno a la biotecnología, la bio piratería y la genómica humana, así como a la serie de nuevas tecnologías conocidas como tecnologías atómicas.

Los aspectos combinados de Erosión (cultural y ambiental); Tecnología (y su transformación de la sociedad); y la Concentración (del poder corporativo) forman el marco operativo de la investigación y el programa de trabajo del Grupo ETC.

#### Agradecimientos

El Grupo ETC desea reconocer, con agradecimiento, el apoyo otorgado por la Fundación Rockefeller, que hizo posible la investigación titulada *The Big Down: From Genomes to Atoms* (*La inmensidad de lo mínimo: de los genomas a los átomos*).

Agradecemos también a la Fundación Rockefeller, la Foundation for Deep Ecology y al Dag Hammarskjöld Foundation por su apoyo al Grupo ETC, lo que permitió la celebración de tres talleres regionales en los que se discutió una versión preliminar de este informe, junto con investigaciones relacionadas. Las contrapartes del Grupo ETC para estos talleres, además de la Dag Hammarskjöld Foundation, fueron SEARICE [Southeast Asia Regional Institute for Community Education], para la celebración del taller en la región Asia, que se llevó a cabo en Nakhon Nayok, Tailandia, en septiembre de 2001; CET-Sur [Centro de Educación y Tecnología-Sur] para el taller de la región América Latina, efectuado en Te-

muco, Chile, en noviembre de 2001; y Biowatch Sudáfrica, para la celebración de un taller africano en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, en diciembre de 2002.

El Grupo ETC llevó a cabo estos talleres y preparó este informe como parte de su contribución al trabajo de políticas públicas del CBDC [Community Biodiversity Development and Conservation Programme].

---

#### Para ordenar copias de este informe

Las publicaciones del Grupo ETC, incluido el presente trabajo, pueden bajarse de la red electrónica, libres de cargo, de nuestra página: [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)

La versión original en inglés, *The Big Down: From Genomes to Atoms* está disponible en copia impresa y en CD-ROM por el equivalente a 10 dólares, que cubre el porte y el envío en América del Norte. Se hacen descuentos en órdenes al mayoreo.

#### Contacto:

Grupo ETC

478 River Avenue, Suite 200

Winnipeg, Manitoba R3L 0C8

Canadá

Tel: (204) 453 5259

Fax (204) 284 7871

Correo electrónico: [etc@etcgroup.org](mailto:etc@etcgroup.org)

[www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)



Traducción al castellano: Ramón Vera Herrera

Ilustraciones originales de Rey Pagé

Adaptación del diseño de K. WALL DESIGN

([www.kwalldesign.com](http://www.kwalldesign.com)): Adriana Catañol/Alfavit



[www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)

*Pero no temo considerar la  
cuestión de si en última instancia  
—en el gran futuro— podremos  
ensamblar los átomos en la forma  
que queramos; y los mismos  
átomos hasta en lo más mínimo.*

RICHARD FEYNMAN

“Hay mucho lugar en el fondo”