

¡Nanotecnología sin plaga! El barullo en torno la plaga gris/verde puede convertirse en la segunda metida de pata de la industria

Asunto: Cuando hacia finales de abril el Príncipe Carlos expresó sus preocupaciones sobre la emergente revolución de la nanotecnología, las noticias de la plaga verde fueron literalmente catapultadas hacia las primeras planas de la prensa en inglés y español en todos lados, recordando incluso los matices que tuviera el debate sobre transgénicos. Pero la nanotecnología —a pesar de ser una de las mejor fundadas nuevas tecnologías en el mundo— es aun muy poco conocida fuera de los círculos científicos y de negocios, y no está regulada por los gobiernos. Los promotores de la nanotecnología, tanto en el ámbito científico como en la industria, han atacado al Príncipe por tener la audacia de expresar sus dudas acerca de los impactos futuros de las manipulaciones de la materia en la escala atómica. La amenaza de la plaga gris (robots nano métricos que se reproducen incontrolablemente) se ha convertido en el lobo feroz al que nadie teme, ya que la industria y los premios Nobel la han desacreditado como posibilidad técnica. Pero en su empeño por mofarse del Príncipe, están ignorando los peligros muy reales que las nanotecnologías representan, incluyendo la potencial toxicidad de las nanopartículas y las implicaciones de muy largo alcance que puede tener la nanobiotecnología.

Contexto: Si bien la teoría de la plaga verde se está convirtiendo en un espantapájaros, sí hay ya avances científicos comprobables con respecto a la manufactura molecular, que se volvió realidad más pronto de lo que nadie se imaginaba.

Implicaciones: No estamos listos para esta última y gigantesca revolución industrial. Es imprescindible un debate público sobre las implicaciones de la nanotecnología sobre el ambiente, la economía, el trabajo y la democracia. Debemos establecer protocolos de laboratorio para proteger a los trabajadores de los materiales potencialmente peligrosos, llevar a cabo los estudios toxicológicos necesarios para saber dónde están los problemas específicos, y regular la investigación sobre nanotecnología y su comercialización, para prevenir crisis de salud pública como la producida por el asbesto, o una catástrofe de tipo Plaga Verde (nanobio).

Políticas: el Príncipe Carlos ha convocado públicamente a la Royal Society a que discuta y analice las implicaciones de las manipulaciones nanoescalares de la materia. El 11 de junio del 2003 se celebró en el Parlamento Europeo un seminario sobre nanotecnología, dirigido a la sociedad civil, los elaboradores de políticos y los medios de comunicación, organizado por el Grupo ETC y otras organizaciones de la sociedad civil preocupadas por esta situación. Finalmente, los gobiernos deben negociar el establecimiento de una convención legalmente obligatoria para la evaluación de nuevas tecnologías. ICENT, por sus siglas en inglés.

“La cuestión ahora no es si es posible producir artefactos híbridos vivos-inertes, sino cuál es la mejor estrategia para acelerar su desarrollo.” — Carlo D. Montemagno¹

Repentinamente la industria nanotecnológica y sus amigos están luchando por convencernos de que los problemas de la nanotecnología que han despertado preocupaciones reales existen en un futuro muy lejano o solamente en las páginas de la ciencia ficción. Todo está bajo control, nos aseguran, y no hay necesidad de atemorizarnos.

La verdad es que de hecho ya se cometió un error —el manejo erróneo de la regulación y la seguridad de las nano partículas. Ahora, en el campo emergente de la nanobiotecnología, pueden estarse gestando más problemas. Un segundo error puede ser fatal. La Plaga Gris, (resultado de que las nano máquinas replicantes se salgan de control) puede sonar como ciencia ficción, pero cuando la biotecnología se entrometa en los nano quehaceres, las consecuencias de la Plaga Verde pueden ser una verdadera causa de preocupación. Este *Communiqué* del Grupo ETC revisa brevemente el debate sobre la Plaga Gris/Plaga Verde y es una advertencia de que si los tecno políticos siguen ignorando negligentemente el asunto de las “Plagas”, nos están poniendo en riesgo a todos.

¿QUÉ ES LA NANOTECNOLOGÍA? La

definición más simple de nanotecnología es la manipulación de la materia en la escala del nanómetro (la millonésima parte de un milímetro), es la escala de los átomos y las moléculas. A los científicos les

gusta decir que la nanotecnología no es nada nuevo, y es verdad que las manipulaciones en la

nanoescala han sido posibles durante por lo menos el último siglo. Mucha de la química en laboratorios opera en la nanoescala. Fue sólo en las últimas dos décadas del siglo veinte, sin embargo, que las manipulaciones *precisas* de los materiales de nanoescala se hicieron posibles. Y fue sólo hasta los últimos años del siglo que tales manipulaciones precisas comenzaron a ser clasificadas bajo el mismo concepto taxonómico (i. e., “nanotecnología”) e identificadas como una “industria” emergente. Aquellos científicos cuyo trabajo involucra la nanotecnología —químicos, físicos, biólogos, científicos cognitivos, ingenieros electrónicos, científicos materiales— apenas comenzaron a discutir entre que es lo que cada quién sabe sobre los fenómenos nanoescalares. Aunque su nombre sugiere pequeño (*nanos* es una palabra griega y significa “enano”), hoy la industria de la nanotecnología tiene un futuro enorme. Ya cientos de toneladas de partículas nanoescalares están apareciendo en productos al consumidor tan diversos como filtros solares, autopartes, pelotas de tenis, anteojos y pinturas. La lista crece cada día. Pero esto es sólo el principio. La nanotecnología no está limitada al desarrollo de nuevos materiales con nuevas características. Los científicos esperan algún día poder desarrollar nuevas formas de manufactura

molecular que pudieran transformar la manera en que el mundo se construye, incluyendo las materias primas. Según la US National Science Foundation



Tal vez se me pasó de nano y me faltó de bio

(la fundación nacional para la ciencia de los Estados Unidos), el

mercado global para los productos nanotecnológicos excederá el billón de dólares para el 2015. Tanto los inversionistas como los gobiernos están apostando a la nanotecnología como el próximo parteaguas tecnológico, pero quienes están involucrados desde adentro insisten en que la nanotecnología se expandirá más, y más rápido de lo predicho —la transformación económica más dramática que el mundo ha conocido.

La nanotecnología se vende a sí misma como una tecnología “verde” —que puede limpiar el ambiente, mejorar la salud a nivel global e incluso resolver la hambruna. Con el recuerdo de otra tecnología —la biotecnología— que hizo muchas de las mismas promesas y pero no respondió a las preocupaciones del público, la industria repite el mantra de que hará y no está cometiendo los mismos errores. Hasta hora, precisamente están errados.

TERRIBLES ERRORES: En primer lugar, a pesar de un cuarto de siglo de trabajo de laboratorio sobre nanopartículas, los científicos no han logrado establecer un protocolo común de laboratorio para asegurar la integridad de los trabajadores que se exponen a las nanopartículas. Además el gobierno permitió que las nanopartículas comenzaran a integrarse a los productos de consumo ante la ausencia de mecanismos regulatorios. Partículas que fueron aprobadas para productos de consumo en la escala micro o macro, no fueron probadas nuevamente cuando se introdujeron en los mismos productos en la nanoescala. Realmente, las nano empresas despreciaron la noción de que las nanopartículas necesitaban evaluarse para conocer sus impactos en la salud y la naturaleza, a pesar de que el ímpetu para su desarrollo provino de los cambios radicales que pueden ocurrir cuando una sustancia se reduce a la nanoescala. Debido a que en la nano escala rige la mecánica cuántica, podría haber cambios en la conductividad, elasticidad, reactividad, fuerza, color y tolerancia a la temperatura y la presión de una sustancia. Algunas nanopartículas pueden atravesar el sistema inmunológico e incluso cruzar la barrera hematoencefálica sin ser detectadas —lo que significa buenas noticias para la administración de medicamentos, pero

terribles noticias si las partículas de acceso irrestricto resulta que se vuelven tóxicas.

En segundo lugar, temerosa de la desaprobación pública, la industria atacó la teoría de que las nanotecnologías podrían llevar al desarrollo del autoensamblaje molecular dirigido (la creación de robots de nano escala capaces de manipular moléculas y reproducirse). Los críticos expresaron sus preocupaciones de que, a menos de el autoensamblaje molecular dirigido por humanos estuviera perfectamente controlado, podría significar una amenaza mayor a la sobrevivencia global, análoga a las células cancerígenas incontrolables que se autorreplican hasta que destruyen el organismos vivo. La amenaza ha sido nombrada “ecofagia global”, o, más simple y gráficamente, “plaga gris”. No es una imagen muy seductora para los inversionistas o los fabricantes que piensan convertir sus empresas en líneas de ensamblaje nanotecnológico. Pero incluso si el autoensamblaje pudiera controlarse, las implicaciones para el ambiente, la economía, el trabajo y la democracia serían enormes y necesitarían discutirse abiertamente. Ahora existe cada vez más evidencia científica de que el autoensamblaje molecular no sólo es posible, sino que puede ocurrir en muy poco tiempo. Si las cuestiones que la industria soslaya resulta que son mal valoradas o que lo hace para beneficio propio, la sociedad cuestionará si es posible que se les pueda confiar a los científicos y los defensores de la industria una tecnología tan poderosa. Si la nanotecnología no comienza por hacer las cosas de una manera apropiada la ciencia va a perder el Santo Grial de la manipulación molecular con el que ha estado soñando al menos desde los días del en que Watson y Crick descubrieron el ADN hace cincuenta años.

PEGAMENTO GRIS: en septiembre del 2001, *Scientific American* dedicó un numero entero a la ciencia de la nanotecnología. La revista presentó una discusión difícilmente comprensible para la gente común sobre el futuro del autoensamblaje molecular, entre K. Eric Drexler, el niño prodigio de la nanotecnología y el premio Nobel Richard Smalley. Smalley, quien tiene su propia

empresa de innovación en nanotecnología y un prestigioso cargo en la Rice University en Houston, tomó la posición de que las máquinas de nano escala son una imposibilidad física debido a la dificultad de manipular los átomos individuales cuando se adhieren tan rápidamente a cualquier superficie. Smalley llama a eso “problema de los dedos pegajosos”. Drexler (Presidente del Foresight Institute en Palo Alto, CA, USA, una organización cuya misión es preparar a la sociedad para la nanotecnología) afirma que la auto replicación molecular es inevitable. La industria de la nanotecnología está feliz de promover el punto de vista de Smalley e ignorar la opinión de Drexler: la joven industria no está complacida con el hecho de que primero Drexler y después Bill Joy de Sun Microsystems, invocaran el fantasma de la plaga gris. Mark Modzelewsky, director del grupo de cabildeo de Estados Unidos Nanobusiness Alliance, hizo una metáfora sobre la manufactura molecular: “...la manipulación precisa de los átomos podría parecerse a ensamblar un reloj de pulso sin instrumentos, usando guantes pesados y con cada una de las partes remojada en pegamento.”ⁱⁱ Mientras Smalley, Drexler y otros continúan debatiendo la viabilidad de la manufactura molecular no biológica, los científicos avanzan en la manipulación individual de átomos mediante medios mecánicos.ⁱⁱⁱ Una publicación de la American Physical Society reportó recientemente, por ejemplo, que un equipo de investigación de Japón era capaz de levantar y mover átomos individuales sin usar corriente electrónica (todos los reordenamientos atómicos que se han hecho, se han logrado usando material conductor y la punta eléctricamente cargada de un microscopio de barrido en túnel).^{iv}

UN DOLOR NOBLE: El Príncipe Carlos recibió una *tunda real* en el Reino Unido, donde los científicos y el vocero de la industria se apresuraron a criticarlo, ridiculizándolo por expresar preocupaciones acerca de la Plaga Gris. Sólo el Primer Ministro anterior, John Major se abstuvo de mofarse.^v En un artículo en el *Times*, Jasper Gerard caracterizó la “minúscula preocupación” de Carlos sobre la nanotecnología como una histeria inmadura.^{vi}

El Dr. Ian Gibson, un miembro del parlamento de Norwich, aconsejó: “si yo fuera él, me apegaría a la arquitectura moderna y temas similares en vez de aquellos que necesitan de una comprensión profunda.”^{vii} Así como la industria ha intentado presentar a los nano robots autorreplicantes como el hombre de hojalata del Mago de Oz, y a Drexler y Joy como futuristas al borde de la paranoia, ha hecho lo mismo con el Príncipe Carlos. No es claro aun qué tan profundas son las preocupaciones reales. (El Grupo ETC todavía no habla con el Príncipe, pero en la prensa escrita se ha reportado que el Príncipe intervino después de leer el reporte del Grupo ETC sobre nanotecnología, *The Big Down*.^{viii}) Si las preocupaciones del Príncipe reflejan de alguna forma la perspectiva de ETC, entonces no se estaría fijando limitadamente en la plaga gris, sino en los peligros muy reales que supone la producción no regulada de nanopartículas y las implicaciones de la nanobiotecnología, la plaga verde.

LOS PÁJAROS Y LAS ABEJAS: Drexler y Bill Joy, y presuntamente también el Príncipe Carlos, son muy conscientes de que el autoensamblaje molecular es tan viejo como la vida misma. Como dice la canción, las aves lo hacen y las abejas lo hacen —o al menos sus células lo hacen. El gran evento acerca de lo vivo —ya sea que usted sea microbio o mamífero— es la habilidad de las piezas nanoescalares de elementos químicos que hacen que el ADN se reproduzca con velocidad notable. La manufactura molecular se encuentra por todos lados. La meta de la nanobiotecnología no es copiar eso, sino hacerlo comercialmente viable —diseñar materiales vivos que hagan el trabajo de las máquinas. ¿Por qué construir robots mecánicos autorreplicantes cuando los materiales biológicos autorreplicantes se consiguen a un precio muy bajo por doquier? Resultará la fusión entre la materia viva y no viva en organismos híbridos y productos que terminan comportándose de formas predecibles e incontrolables? La amenaza real no es la plaga gris, sino la plaga verde.

LA REVOLUCIÓN (DE LA DOBLE PLAGA) VERDE: Reorganizar la naturaleza es difícilmente una idea nueva. Para incrementar los rendimientos durante la revolución verde, los científicos cultivaron plantas semi enanas que fueran más eficaces en la absorción de los fertilizantes sintéticos, y en el proceso, aumentar la necesidad de las plantas de insecticidas. Para aumentar la dependencia, la industria de la biotecnología agrícola diseñó plantas que pudieran tolerar los

agrotóxicos. Las compañías agrobiotecnológicas podrían haber estructurado nuevos químicos que resolvieran las necesidades de las plantas o bien podrían haber manipulado las plantas para que resolvieran las necesidades de la compañía de herbicidas. Ahora las jóvenes industrias nanotecnológicas están recorriendo el mismo camino —buscando nuevas formas en que la vida puede servir a las necesidades de la industria.

“Dios para principiantes”

A través de la manipulación a nanoescala de los materiales biológicos, ahora es posible (o los científicos piensan que pronto lo será):

- Manufacturar ADN sintético a partir de la “huella digital” proveída por un organismo natural;
- Usar el ADN sintético para crear organismos vivos únicos;
- Construir nuevos aminoácidos artificiales que puedan transformarse en proteínas únicas;
- Agregar una quinta letra al ADN (A, C, T, G y ahora “F”) de modo que se incremente la diversidad potencial (o destructividad) de la vida.
- “Escribir” el código de ADN a la manera en que los programadores escriben software;
- Usar ADN para contruir nanomáquinas capaces de autoensamblaje exponencial;
- Diseñar el autoensamblaje exponencial de nano máquinas que puedan llegar a construirse en motores, pistones, pinzas, etcétera, en procesos fabriles.

“¿DIOS PARA PRINCIPIANTES?” A pesar de las protestas de los “nano nerviosos” los científicos de vanguardia están buscando una receta para construir nueva vida. El año pasado, investigadores de Stony Brook (el instituto de alta tecnología en la universidad estatal de Nueva York) sintetizaron las 7, 500 letras del genoma del virus de polio usando información pública de secuencias genéticas y también información “almacenada” que se adquiere comercialmente, sobre material de ADN.^{ix} Finalmente, lograron combinar el virus de polio con catalizadores y moléculas constructoras de proteína de modo que el virus pudiera autoensamblarse.^x Por primera vez en 4.5 billones de años, Dios podría estar enfrentando a un contendiente.

POR LA ESCALERA DEL ADN:

Considérese J. Craig Venter, cuyo ADN personal fue secuenciado por su compañía, Celera Genomics, en la carrera por completar el mapa del genoma humano compitiendo con el

proyecto de fondos públicos Human Genome Project. Venter y el premio Nobel Hamilton Smith lanzaron el Institute for Biological Energy Alternatives (instituto para las alternativas energéticas) hace pocos meses, financiado parcialmente con \$ 3 millones de dólares del ministerio de energía de Estados Unidos. El instituto tiene como objetivo construir, literalmente, una nueva forma de vida. Para hacer esto, están usando el ADN reducido (boiled down) del microbio conocido más básico, el *Mycoplasma genitalium*, que se encuentra (¡figúrese usted!) en los genitales humanos, como un andamio para unir los elementos básicos del ADN sintético, que entonces sería modificado para hacer nuevas formas de vida. De esta manera, según dicho de Venter, sería posible para la ciencia construir microbios completamente nuevos para limpiar carbono, exterminar virus o producir comestibles. “Nos preguntamos si podemos elaborar una definición molecular de vida,” expresó Venter al *Washington Post*.^{xi}

LOS GENES DE GUTENBERG: Sin embargo, la Biblia afirma que se ocuparon seis días para hacer el mundo. Le llevó a los investigadores de SUNNY-Stony Brook dos años construir 7 500 letras genéticas, y Craig Venter pasó tres años creando solamente una nueva forma de vida.^{xii} A este paso, los organismos autorreplicantes creados por humanos tienen un futuro incierto, pero no si la empresa Egea Biosciences se sale con la suya. La compañía californiana diseñó sistemas automatizados de ensamblaje que son capaces de reducir los dos años de Stony Brook a menos de una semana —y esta empresa está a penas comenzando. Eventualmente, Egea espera ser capaz de escribir eficazmente cien mil letras de ADN sintético en pocas semanas.^{xiii} Sin embargo, la real belleza del nuevo Génesis de Egea es un programa de cómputo que permitirá a los investigadores literalmente escribir ADN que luego el hardware de la misma compañía manufacturará según pedido específico. A esto lo llaman “procesador de palabras para ADN.”^{xiv} La ficción podría convertirse en un hecho.

LA LETRA DEL DEFECTO: Investigadores de la universidad de Florida junto con el Scripps Research Institute en La Jolla, California, muy hábiles en escribir sus propias bio historias, piensan que el viejo guión es limitado. No contentos con la mezcla de letras que conforma los peldaños de la escalera del ADN (A [adenina], T, [tiamina] C [citosina] and G [guanina]), Scripps & Co. quiere poner emoción a la “telenovela de la vida” con una F (que significará fluorbenzeno, o, tal vez, Floyd —el nombre del químico que está elaborando la base artificial).^{xv} Ir al laboratorio a mezclar una quinta letra es muy parecido a ir a Las Vegas a apostar con los tahúres y jugar con cinco frutas en lugar de cuatro. (Cuatro bloques de construcción proveen de 256 combinaciones, mientras que con cinco se disparan las posibilidades a 3 125). Si bien esto incrementa enormemente la posible diversidad de la vida, incrementa en la misma medida las oportunidades de que las “creaciones” resulten imperfectas. Este es el gran partaguas histórico desde el descubrimiento del ADN o bien terminará en una segunda expulsión del Jardín

del Edén. Scripps espera que al expandir las posibilidades del ADN las compañías farmacéuticas se preparen para hacer de las suyas con el ADN. Mientras esa es una expectativa empresarial, para otros el mismo hecho suscita gran preocupación. Si esta nueva ola de ingeniería genética da luz verde a la industria para construir nuevos y exóticos aminoácidos, proteínas y formas de vida, los productos finales podrían contribuir de muchas formas tanto al armamentismo biológico (intencionalmente o no) o a la plaga verde lo mismo que para producir nuevos medicamentos.

¿Plantas muy duras para que las coman los insectos? ¿piel anti inflamable? ¿O, tal vez, un poderoso *Mycoplasma genitalium* que hace aparecer al Viagra como cosa de niños? Por ahora, solo podemos entretenernos con la especulación.

PRODIGIOS DE LAS PROTEINAS: las proteínas, la clase más pequeña de máquinas biológicas están probando ser lo suficientemente flexibles para participar en todo tipo de actividades extracurriculares. Un equipo de investigadores en la Universidad de Rice ha estado experimentando con la F-actina, una proteína similar a una fibra larga y delgada, que provee el soporte estructural de la célula y controla su forma y movimiento.^{xvi} Proteínas como la F-actina conducen la electricidad a lo largo de su cuerpo. Los investigadores esperan que algún día podrían usarse como biosensores —actuando como nano cables conductores de electricidad. Los nano cables de proteína podrían reemplazar a los nano cables de silicio, los cuales se han estado usando como biosensores, pero son más costosos de fabricar y al parecer tienen un impacto ambiental más grande que sus contrapartes proteínicas.

Científicos en la universidad de Duke (Estados Unidos) han diseñado un programa de computadora que les permitirá predecir cómo cambiar la forma de una proteína de modo que se vincule con algo diferente a lo que se vincula cuando lo hace de manera natural.^{xvii} Los investigadores comenzaron con proteínas de la bacteria de la *Escherichia coli* y entonces la computadora hizo cambios en algunos de los

bloques de construcción de la proteína (es decir, aminoácidos) y entonces calculó cómo los cambios cambiarían su manera de vincularse. Este es el primer paso hacia el diseño de proteínas desde cero con el fin de que realicen alguna función particular.

¿MODA CELULAR? Uno de los proyectos de ingeniería genética más ambiguos hasta ahora es la programación de células vivas de modo que sean capaces de recibir y llevar órdenes entre una y otra, su ambiente o incluso operadores humanos —en otras palabras, convertir células en robots.^{xviii} Ron Weiss, un ingeniero en electrónica de la universidad de Princeton, piensa que sería capaz de dirigir las células para que construyan casas, identificar agentes tóxicos en el ambiente o reparar órganos dañados dentro del cuerpo. Ahora mismo, sus robots celulares están usando la bacteria *E coli*. Ya resolvió la manera de hacerlos funcionar según la lógica digital (usando proteínas para transportar señales en vez de circuitos eléctricos) y hacerlas que se comuniquen entre ellos. El enfatiza que los robots hechos de organismos vivos tienen muchas posibilidades de éxito debido a que los investigadores no tienen que comenzar de la nada. Pueden reutilizar los mecanismos existentes en las células que las hacen capaces de crecer, restaurarse y comunicarse. Weiss ya lanzó robots celulares de dos especies diferentes —que pueden comunicarse uno con otro para encenderse en patrones o en secuencias coordinadas.^{xix}

¿AGENTE 0.007? Los investigadores quieren combinar las capacidades no biológicas de la materia inorgánica (tales como la conductividad eléctrica y la fuerza) con las capacidades del biomaterial (auto ensamblaje, auto reparación y adaptabilidad).^{xx} En la macro escala, los científicos están elaborando organismos biológicos para que realicen funciones industriales miniaturizadas. Por ejemplo, los científicos en la Universidad de Tokio fabrican cucarachas para manejarse a control remoto que tienen implantados microchips con el fin de usar los insectos para las funciones de vigilancia. Otros científicos están apostándole a que si una *corpo cucaracha* puede espiar, un nano agente puede hacerlo mucho mejor. Entonces, en

diciembre pasado, Günter von Kiedrowski (de la Ruhr University de Bochum, Alemania) reportaron que su equipo se encuentra al filo de lograr materiales de nanoescala auto replicantes.^{xxi} Los investigadores pueden copiar la información química en moléculas complejas y ordenarles que se ensamblen en formaciones pre descritas a través de señales de radio de alta frecuencia. Más importante, las nano máquinas parecen capaces de una replicación exponencial. El escenario de pesadilla de Drexler de que ocurra una ecofagia global, se puso un poco más cerca.

PROMETEO DESPEGADO: La “cuestión pegajosa” parece ser un terrible y perenne problema para los nanotecnólogos. Incluso en la Fase 1 de la nanotecnología (la producción a granel de nano partículas) los nano fabricantes están teniendo un tiempo difícil para evitar que las partículas se adhieran. El problema hace que el uso industrial de nano tubos de carbono, especialmente como transistores, se vuelva irrealizable. Richard Smalley —uno de los pioneros en la comercialización de nanotubos— sabe de esto. El factor “pegajoso” hace que los tubos de Smalley se empalmen uno con otro casi tan rápido como se conforman. Uno puede decir que separar los nanotubos de carbono es como tratar de desarmar un reloj de pulso usando guantes sumergidos en miel... Recientemente, sin embargo, los investigadores de DuPont encontraron una solución para el problema de los “tubos adherentes”^{xxii}. Cuando los tubos son expuestos a tiras de ADN, las tiras rodean a los tubos^{xxiii} separadamente. Un intercambio eléctrico ocurre entre el ADN y los tubos, que permite a los fabricantes clasificarlos eficientemente gracias a sus propiedades conductivas.

SIN PEGAMENTO... Y SIN PISTAS: Con la fusión entre la nanotecnología y la biotecnología, tenemos todo un nuevo espectro de problemas para la sociedad —y para los reguladores de los gobiernos. Para su propia vergüenza, la industria de la nanotecnología tendría que admitir que durante más de dos décadas ha desarrollado nano partículas ante la ausencia total de protocolos de laboratorio acordados por la comunidad científica y sin

ninguna regulación gubernamental. De ahora en adelante, las empresas estarán forzadas a cuestionar la viabilidad del autoensamblaje molecular como proceso industrial. Después de tantos años de asegurar que no se podía, serán los primeros en hacerlo. Sin embargo el autoensamblaje molecular suscita enormes

preocupaciones para el bienestar de la humanidad y la naturaleza. Los gobiernos deben asumir sus responsabilidades, invocar el Principio de Precaución, y establecer mecanismos de revisión y regulación necesarios para la protección de todos.

El tiempo importa

Si piensa que la nanotecnología es una realidad lejana, piense de nuevo. Cometimos ese error cuando comenzaba la era de la biotecnología. Aquí tiene algunos ejemplos de qué tan rápido la investigación científica se ha movido en los últimos 10-20 años (algunos de estos cambios han sido posibles debido a las tecnologías de nano escala

- En 1996, después de 10 años, 1,000 científicos decodificaron el genoma de la levadura. En el 2003, el genoma del SARS pudo decodificarse en una semana.^{xxiv}
- A mediados de los setenta, tomó dos meses para secuenciar 150 nucleótidos. Para la época en que el mapa del genoma humano fue completado, los científicos pudieron secuenciar 11 millones de nucleótidos en unas horas.^{xxv}
- El secuenciamiento de las letras del ADN costó \$100 en 1980; 1 dólar en el 2000, y unos centavos en estos días.^{xxvi}
- El número de compuestos bajo prueba para volverse medicamentos se ha incrementado exponencialmente tres veces en los últimos 10 años. De 500,000 compuestos a aproximadamente 1,500 millones.^{xxvii}
- Hace tres años, el precio de las buckyballs – moléculas de carbono que se piensa son muy útiles para nuevos sistemas de administración de fármacos en el organismo— era de unos USD \$600 por gramo, y el costo se ha abatido hasta USD \$30 por la misma cantidad (el precio bajó unas 20 veces). Y aún sigue cayendo.^{xxviii}

NOTAS

ⁱ Carlo Montemagno, “Nanomachines: A Roadmap for realizing the vision,” *Journal of Nanoparticle Research* 3, 2001, p. 3.

ⁱⁱ Mark Modzelewski, “Militant group’s anti-nano manifiesto a bizarre blend,” *Small Times*, marzo/abril 2003, Vol. 3, No. 2, p. 55. Modzelewski stated that this analogy appears in a recently released book: William Illsey Atkinson’s *Nanocosm: Nanotechnology and the Big Changes Coming from the Inconceivably Small*.

ⁱⁱⁱ El Instituto para la Manufactura Molecular de Eric Drexler tiene en su sitio web una replica a las objeciones de Smalley. Disponible en Internet: <http://www.imm.org/SciAmDebate2/smalley.html>

^{iv} Lea Winerman, “How to Grab an Atom,” en *Physical Review Letters*, 90, 176102, 2 de mayo, 2003.

^v Sue Leeman, “Criticism of Charles is Overblown, Former Prime Minister Major Says,” *Associated Press*, 2 de mayo, 2003.

^{vi} Japer Gerard, “Charles gets in a wee tizz over nanotechnology,” *Sunday Times* (Londres), 27 de abril, 2003.

^{vii} Anon., “MP’s anti-science slur on the Prince,” *Norwich Evening News*, 28 de abril, 2003.

^{viii} Michael Brunton, “Little Worries,” *Time Europe*, 12 de mayo, 2003, p. 50.

^{ix} Anonymous, Stony Brook News Release, “First de novo virus synthesis.”

<http://ws.cc.stonybrook.edu/ovprpub/tsc/polio.html>

^x Tom Clarke, “Polio Made from Scratch,” *Nature* online, 12 de julio, 2002. Disponible en Internet: www.nature.com

^{xi} Justin Gillis, “Scientists Planning to Make New Form of Life,” *Washington Post*, 21 de noviembre, 2002, p. A1.

- ^{xii} Alexander Goho, "Life Made to Order," *Technology Review*, abril de 2003, pp. 50-57. Disponible en Internet: www.technologyreview.com
- ^{xiii} Ibid.
- ^{xiv} Ibid.
- ^{xv} Ibid.
- ^{xvi} <http://www.ruf.rice.edu/~cben/ProteinNanowires.shtml>
- ^{xvii} Andrew Pollack, "Proteins Are Transformed, Then Put to More Uses," en *New York Times*, 13 de mayo, 2003.
- ^{xviii} Steven Schultz, "Electrical engineer programs cells to do his bidding," en *Princeton Weekly Bulletin*, vol. 92, no. 5, 7 de octubre, 2002.
- ^{xix} Ibid. y Rodney A. Brooks, *Robot*, Penguin, 2002, pp. 234-236.
- ^{xx} Ibid.
- ^{xxi} Philip Ball, "The Robot Within," en *New Scientist*, Vol. 177, Issue 2386, 15 de marzo 2003, p. 50.
- ^{xxii} Nicola Jones, "Why every engineer needs a few strands of DNA," en *New Scientist*, vol. 178, no. 2390, 12 de abril 2003, p. 19.
- ^{xxiii}
- ^{xxiv} Para el secuenciamiento del genoma de la levadura, Dick Thompson, "Gene Maverick," *Time*, 11 de enero 1999, p. 55. Para el secuenciamiento del SARS, Dick Thompson, vocero de la World Health Organization, citado en Stefan Lovgren, "Scientists Crack SARS Genetic Sequence," *National Geographic News*, 15 de abril, 2003. Available on the Internet: http://news.nationalgeographic.com/news/2003/04/0415_030415_sarsdna.html
- ^{xxv} Zina Moukheiber, "A hail of silver bullets," *Forbes*, 26 de enero, 1998, p. 78.
- ^{xxvi} Clare Sansom, "Unravelling the human genome," *Scrip Magazine*, September 1998, p. 45.
- ^{xxvii} Neil Gordon and Uri Sagman, *Briefing Paper: Nanomedicine Taxonomy*, Canadian Nanobusiness Alliance, febrero de 2003.
- ^{xxviii} Anon., *Nano 101: An Insider's Guide to the World of Nanotechnology*, 2002, p. 3.

El Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, Grupo ETC (pronunciado etcétera) es una organización de la sociedad civil, cuya secretaría internacional está en Canadá. El Grupo ETC se dedica a la promoción de la diversidad cultural y ecológica y de los derechos humanos. Por ello apoya el desarrollo socialmente responsable de tecnologías útiles para los pueblos pobres y marginados y atiende temas relativos a la gobernancia —control de los gobiernos desde la sociedad— particularmente aquellos que afectan a la comunidad internacional. También monitorea la propiedad y el control de las tecnologías y la consolidación del poder corporativo. www.etcgroup.org.

El Grupo ETC es miembro del proyecto CBDC (Conservación y desarrollo de la biodiversidad con comunidades de pequeños agricultores), una iniciativa experimental de colaboración entre 14 organizaciones de la sociedad civil e instituciones públicas de investigación. El proyecto CBDC tiene como objetivo la exploración de programas dirigidos por las comunidades en la conservación y promoción de la diversidad agrícola. Más información en www.cbdcprogram.org