



LA INVASIÓN INVISIBLE DEL CAMPO

El impacto de las tecnologías nanoscópicas en la alimentación y la agricultura

noviembre de 2004



LA INVASIÓN INVISIBLE DEL CAMPO

El impacto de las tecnologías nanoscópicas
en la alimentación y la agricultura



noviembre de 2004

El grupo ETC reconoce con agradecimiento el apoyo financiero del International Development Research Centre, de Canadá, a nuestra investigación en torno a las tecnologías nano escalares. Agradecemos el respaldo adicional de SwedBio (Suecia), CS Fund (EUA), Educational Foundation of America (EUA), JMG Foundation (RU) y Lillian Goldman Charitable Trust (EUA). No obstante, los puntos de vista expresados en este documento son de la sola responsabilidad del Grupo ETC.

Diseño original e ilustraciones de Reymond Pagé



Las publicaciones del Grupo ETC, incluida *La invasión invisible del campo*,
pueden descargarse, libres de costo, de nuestro sitio electrónico:
www.etcgroup.org

Para solicitar el envío de copias en papel, por favor comunicarse con
Grupo ETC México
veronica@etcgroup.org

Traducción al castellano: *Ramón Vera Herrera*
Adaptación del diseño: *Adriana Cataño/Alfavit*

Contenido

7	Resumen
9	Introducción —el tramado de la tierra
13	1. La nano agricultura: una invasión invisible del agro
	Semillas miniaturizadas
15	Plaguicidas nanométricos: venenos encapsulados
19	<i>Agricultura de precisión</i> : de polvo inteligente a campos de cultivo inteligentes
25	El comercio de lo infinitesimal: bienes de consumo nanométricos
31	Nano farmacopea para animales
37	El futuro de los cultivos: nano biotecnología y biología sintética
41	2. Alimentos y nutrición nanométricos: nanotecnología para la panza
	La manufactura molecular de alimentos
45	Etiquetado y supervisión
46	Comida nanométrica: En el fondo, ¿qué se cocina?
49	Por encargo especial
53	3. Recomendaciones
57	Anexo uno: Investigación y desarrollo en nanotecnología: las corporaciones de alimentos y bebidas más grandes del mundo
59	Anexo dos: Patentes de nanotecnología para comestibles y su empaquetado
63	Notas

R E S U M E N

Asunto: La nanotecnología, la manipulación de la materia en la escala de los átomos y las moléculas (un nanómetro [nm] es la millonésima parte de un milímetro), converge rápidamente con la biotecnología y las tecnologías de la información para cambiar radicalmente los sistemas de alimentación y agricultura. En los próximos veinte años, los impactos de la convergencia nano escalar en el quehacer de los agricultores y la producción de alimentos excederán los de la mecanización del agro o los de la Revolución Verde. Las tecnologías convergentes podrían revigorizar las golpeadas industrias agro químicas y agro biotecnológicas, avivando un debate muy intenso —esta vez en torno a alimentos “atómicamente modificados”. Ningún gobierno ha desarrollado un régimen regulatorio que afronte los aspectos relativos a la nano escala o los impactos sociales de lo pequeño invisible. Ya están disponibles comercialmente unos cuantos productos que contienen aditivos nano escalares, invisibles, sin etiquetar y sin regulación alguna.

También existen en el mercado algunos plaguicidas formulados a nivel nanométrico que ya fueron liberados al ambiente.

Impacto: Del suelo a la cena, la nanotecnología no sólo cambiará la *forma* de operar de cada paso de la cadena alimentaria, sino *quién* estará involucrado. Está en juego el mercado de alimentos al menudeo cuyo monto mundial es de 3 billones de dólares, un mercado de exportaciones agrícolas valuado en 544 mil millones de dólares, y la forma de vida de unos 2 600 millones de personas dedicadas a la agricultura, por no hablar del bienestar del resto de nosotros, que dependemos de los agricultores para el pan nuestro de cada día.¹

La nanotecnología tiene profundas implicaciones para los agricultores (los pescadores y los pastores) y para la soberanía alimentaria a nivel mundial. La agricultura puede resultar ahora un campo de prueba para tecnologías que podrían adaptarse para servir en la vigilancia, el control social y la guerra biológica.

Políticas: El debate en torno a los alimentos genéticamente modificados no pudo responder a las preocupaciones por la salud y el ambiente que generan, y evadió flagrantemente la discusión de los aspectos relativos a la propiedad y el control. Cómo saldrá afectada la sociedad y quién se beneficia con esto son los puntos cruciales. Dado que la nanotecnología implica toda la materia, las patentes relativas a lo nanométrico pueden tener impactos profundos en todo el sistema alimentario y en todos los sectores de la economía. La biología sintética y los materiales nanométricos transformarán de manera dramática la demanda de insumos agrícolas requeridos por los procesadores. Los productos nanométricos llegaron al mercado —y muchos más están en camino— en ausencia de regulaciones o debate social alguno. La fusión de la nanotecnología con la biotecnología tiene consecuencias desconocidas para la salud, la biodiversidad y el ambiente.

Los gobiernos y los formadores de opinión van ocho o diez años atrás de la necesidad social de información, debate público y diseño de políticas.

Recomendaciones: Al permitir que los productos de la nanotecnología lleguen al mercado sin que haya habido un debate público y una supervisión regulatoria, los gobiernos, las agroempresas y las instituciones científicas ya pusieron en peligro los beneficios potenciales de las tecnologías nanoscópicas.

Primero, y sobre todo, la sociedad —incluidos los agricultores, las organizaciones de la sociedad civil y los movimientos sociales— deben emprender un amplio debate en torno a la nanotecnología y sus múltiples implicaciones económicas, ambientales y de salud. En aras del *principio precautorio*, todos los alimentos, las bebidas (incluidos los suplementos nutricionales), los forrajes y piensos que incorporen nano partículas manufacturadas, deberán retirarse de los anaqueles, y se debe prohibir que se comercialicen nuevos productos hasta el momento en que existan y

Ningún gobierno ha desarrollado un régimen regulatorio que afronte los aspectos relativos a la nano escala o los impactos sociales de lo pequeño invisible.

Ya están disponibles comercialmente unos cuantos productos que contienen aditivos nano escalares, invisibles, sin etiquetar y sin regulación alguna. También existen en el mercado algunos plaguicidas formulados a nivel nanométrico que ya fueron liberados al ambiente.

Cualquier esfuerzo que emprendan los gobiernos o la industria por confinar las discusiones a reuniones de expertos o por debatir únicamente en torno a los aspectos de seguridad o salud de las tecnologías nanoscópicas, será un error. Deben ponerse a discusión los más amplios aspectos sociales y éticos también.

operen los protocolos de laboratorio y los regímenes regulatorios que tomen en cuenta las características especiales de estos materiales, y se demuestre que son inofensivos.

De igual manera, debe prohibirse que se liberen al ambiente las formulaciones nanométricas de insumos agrícolas tales como fertilizantes y tratamientos para suelos hasta que un nuevo marco regulatorio diseñado específicamente para examinar estos productos determine su seguridad.

Los gobiernos deben declarar también una moratoria a la experimentación en laboratorio con materiales procedentes de la “biología sintética” —y su liberación al ambiente— hasta que la sociedad pueda comprometerse a un análisis profundo de sus alcances ambientales, socio económicos y de salud. Cualquier esfuerzo que emprendan los gobiernos o la industria por confinar las discusiones a reuniones de expertos o por debatir únicamente en torno a los aspectos de seguridad o salud de las tecnologías nanoscópicas, será un error. Deben ponerse a discusión los más amplios aspectos sociales y éticos también.

A nivel intergubernamental, los actuales comités y comisiones de agricultura, pesca, forestería y recursos genéticos de la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) deberían supervisar y debatir las nuevas tecnologías, con propuestas

y retroalimentación de organizaciones de campesinos y pequeños productores. El comité de problemas relativos a los bienes de consumo de FAO (Committee on Commodity Problems) debería, de inmediato, comenzar a examinar las implicaciones socio económicas que entrañan para los agricultores, la seguridad alimentaria y los gobiernos nacionales. El comité de seguridad alimentaria mundial de FAO/Naciones Unidas (Committee on World Food Security) debería discutir las implicaciones de un posible agro terrorismo y la soberanía alimentaria. Adicionalmente, el Convenio de Diversidad Biológica de Naciones Unidas debe revisar el impacto potencial de la nano biotecnología, especialmente en la bio seguridad. Otras agencias de Naciones Unidas, como la conferencia de Naciones Unidas en comercio y desarrollo (United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD, por sus siglas en inglés) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) deben unirse con la FAO para examinar el impacto de la nanotecnología sobre la propiedad y el control del abasto mundial de alimentos, los bienes de consumo y el trabajo. La comunidad internacional debe establecer un cuerpo dedicado a rastrear, evaluar y supervisar las nuevas tecnologías y sus productos mediante una convención internacional para la evaluación de nuevas tecnologías (ICENT, por sus siglas en inglés).



INTRODUCCIÓN — EL TRAMADO DE LA TIERRA

En una entrevista concedida el año pasado, el premio Nobel y hoy empresario de la nanotecnología, Richard Smalley, expresó su frustración con lo que considera exageradas preocupaciones en torno a la seguridad implicada en la nanotecnología: “Después de todo”, dijo Smalley a *The New Stateman*, “no estamos aconsejándolos que coman productos nanotecnológicos”.²

¡Uy!, para el momento en que el doctor Smalley le decía a los consumidores que no había de qué preocuparse, se estimaba que el mercado nanotecnológico de comestibles y su procesamiento tenía un excedente de 2 mil millones de dólares y la proyección era que estallaría a más de 20 mil millones para el año 2010.³

Al igual que el doctor Smalley, la mayoría de nosotros no tiene idea de cuántos productos alimenticios que contienen aditivos nanoescalares están ya en los anaqueles de las tiendas de abarrotes. Pero no hay que culpar al doctor Smalley por no percatarse de los ingredientes nanométricos de su jugo de frutas —después de todo, son invisibles, los productos no se etiquetan y nadie impone una supervisión regulatoria especial.

En enero de 2003, el Grupo ETC publicó *La inmensidad de lo mínimo*, el primer esfuerzo de la sociedad civil por describir y analizar la convergencia tecnológica a nivel nanoescalar. Nuestro informe tuvo un impacto asombroso, pues catalizó el debate público y la atención de los medios de comunicación por todo el mundo e instó a muchos gobiernos y a varias instituciones científicas a emprender sus propios estudios y a criticar sus propias iniciativas de investigación. *La invasión invisible del campo* es una primera mirada a las aplicaciones de la nanotecnología en el ámbito de la alimentación y la agricultura —con tecnologías que cuentan con el potencial para revolucionar y consolidar aún más el control sobre el abasto mundial de alimentos. Este informe es el primero en una serie que ETC publicará en los próximos dos años con el fin de indagar los impactos potenciales de la nanotecnología sobre diferentes sectores económicos y sociales.

La invasión invisible del campo no es una invectiva contra el cambio tecnológico ni un llamado a conservar el sistema imperante. Más bien es un intento por confrontar una realidad: operan ya cambios tecnológicos significativos y afectarán a toda la sociedad. Algunas de sus reverberaciones son fáciles de predecir, otras no tanto. Al mismo tiempo, este informe no acepta que la “reedificación extrema” que la nanotecnología hace de la alimentación y la agricultura sea la conclusión inevitable. Nuestro informe atisba el estado del arte y las implicaciones potenciales para el futuro. *La invasión invisible del campo* se ofrece como punto de partida para un debate, mucho más amplio, que debe incluir a las organizaciones campesinas y de agricultores, a los movimientos sociales, a la sociedad civil y a los gobiernos del Sur. Hasta ahora, quienes participan en la discusión son en gran medida los científicos, los inversionistas y los ejecutivos de las industrias, en particular en las naciones agrupadas en la OCDE.

El Grupo ETC reconoce que, en un contexto justo y sensato, la nanotecnología podría brindar avances útiles que beneficiaran a los pobres (suena prometedor eso de campos de energía sustentable, agua limpia y producción limpia; las aplicaciones a los ámbitos de la alimentación y la agricultura no lo parecen tanto). La historia muestra que la introducción de importantes nuevas tecnologías resulta en repentinos desajustes económicos. Los pobres y los marginados rara vez están en posición de prever y ajustarse con rapidez a los abruptos cambios económicos. Entre los más vulnerables estarán los agricultores de pequeña escala, los campesinos y los jornaleros agrícolas que producen mercancías de exportación, sin procesar, en el mundo en desarrollo.

Según las tendencias actuales, las tecnologías de escala atómica concentrarán, aún más, el poder económico en manos de las gigantes corporaciones multinacionales. ¿Cómo podrán beneficiarse los pobres de una tecnología que yace fuera de su control?

*Después de todo,
no estamos aconsejándolos
que coman productos
nanotecnológicos.*

RICHARD SMALLEY
—premio Nobel
y empresario de nanotecnología

*Según las tendencias actuales, las
tecnologías de escala atómica
concentrarán, aún más, el poder
económico en manos de las
gigantes corporaciones
multinacionales. ¿Cómo podrán
beneficiarse los pobres de una
tecnología que yace fuera de su
control?*

El nivel nanométrico no puede asirse desde el ámbito de la química y la física convencionales. Son los principios de la “mecánica cuántica” los que explican las características especiales que tienen los materiales tradicionales a ese nivel —con riesgos a la seguridad y la salud, únicos.

Con tan sólo reducir el tamaño (a menos de 100 nm) y sin cambios en la sustancia, las propiedades de un material pueden cambiar dramáticamente.

La demanda global de materiales, herramientas y dispositivos nano escalares se estimó en 7 600 millones de dólares en 2003,⁴ y la suposición es que crezca a un billón hacia 2011.⁵

La nanotecnología se apalancó en una posición puntal en los presupuestos de investigación de las economías y las compañías más pujantes del mundo. Sus aplicaciones en las industrias de alta tecnología —computadoras, medicina y defensa— son un sueño hecho cartel a todo color para las compañías con pobre tecnología, de potencial dudoso. En contraste con lo anterior, las aplicaciones nanotecnológicas en la industria de alimentos y productos agrícolas empiezan apenas a llamar la atención; incluso las ignoran frecuentemente los compenetrados en el campo de la nano tecnología. (El *Nanotech Report* 2004, un informe de investigación de mercado, de dos volúmenes y 650 páginas, producido por Lux Research, apenas si menciona las aplicaciones relacionadas con alimentos y agricultura.) Aunque las vastas implicaciones de la nanotecnología aplicada a estos rubros sean prácticamente desconocidas a fines de 2004, es seguro que serán muy profundas.

Tecnologías convergentes alias BANG. En *La invasión invisible del campo*, intentamos identificar las tecnologías nanoscópicas clave que le permiten a la industria remodelar nuestros sistemas agrícola y alimentario. Nuestro foco se centra en aquellas tecnologías que mi-

gran desde la nano escala para convergir con la biotecnología, la informática y las ciencias cognitivas. (Ver recuadro de tecnologías convergentes). En Europa, como en Estados Unidos, los investigadores y quienes diseñan políticas públicas han reconocido el potencial transformador de las tecnologías convergentes. Más que las tecnologías individuales descritas en este informe, es su naturaleza sinérgica lo que alterará los alimentos y el cultivo como los conocemos.

El tamaño importa: El nivel nanométrico no puede asirse desde el ámbito de la química y la física convencionales. Son los principios de la “mecánica cuántica” los que explican las características especiales que tienen los materiales tradicionales a ese nivel —con riesgos a la seguridad y la salud, únicos. Con tan sólo reducir el tamaño (a menos de 100 nm) y sin cambios en la sustancia, las propiedades de un material pueden cambiar dramáticamente. Características —como la conductividad eléctrica, la reactividad, la fuerza, el color y especialmente su toxicidad— pueden alterarse en formas que no son fáciles de predecir. Por ejemplo, una sustancia roja cuando tiene un metro de ancho, puede ser verde cuando su ancho es de unos cuantos nanómetros; el carbono, en la forma de grafito, es suave y maleable, pero en la nano escala el carbono es más fuerte que el acero. Un simple gramo de material de catálisis hecho de partículas de 10 nanómetros es 100 veces más reactivo que la misma cantidad, del mismo material, pero con partículas que midan un micrómetro (una micra, o micrómetro es mil veces mayor que un nanómetro).

Aparte de las serias implicaciones de toxicidad que subyacen a los cambios cuánticos de las propiedades de la materia, no es siempre necesario, o útil, trazar una línea marcada entre las aplicaciones nano escalares y las microscópicas: “la nano escala” no es necesariamente el fin en todos los casos; la “micro escala” puede ser adecuada para algunos propósitos; para otros, los dispositivos, materiales o partículas microscópicas o nanoscópicas pueden muy bien servir. Ambos pueden ser disruptores.



Tecnologías convergentes: NBIC, CTEKS o BANG

En Europa y en Estados Unidos, los investigadores y los diseñadores de políticas reconocen el potencial de las tecnologías convergentes en la transformación de todos los sectores de la economía y en nuestro entendimiento de lo que significa ser humano.

El gobierno estadounidense se refiere a esta convergencia como NBIC (la integración de Nanotecnología, Biotecnología, Informática —o tecnología de la información— y Ciencia de la Cognición) e imagina que dominar el ámbito nanométrico es a fin de cuentas tanto como dominar la naturaleza.⁶ A nivel molecular, en la visión del mundo de la NBIC, existe una “unidad de la materia”, de tal suerte que toda ella —viva o inerte— es indistinguible y puede integrarse sin costura alguna. El propósito de la NBIC es “mejorar el desempeño humano”, tanto físico como cognitivo (por ejemplo en el campo de batalla, en el trigal, en el empleo).

La Comisión Europea publicó recientemente un informe sobre tecnologías convergentes que preparó el High Level Expert Group “Foresighting the New Technology Wave”⁷ (que como su nombre lo indica es un grupo europeo de expertos de alto nivel “en previsión de la nueva ola tecnológica”). Distanciándose del proyecto estadounidense de “mejorar el desempeño humano”, el grupo en cuestión enfatiza una “aproximación específicamente europea ante la convergencia tecnológica”.⁸ Propuso también la idea de una *sociedad de tecnologías convergentes para el conocimiento europeo* (*Converging Technologies for the European Knowledge Society*, mejor conocida como CTEKS), que apunta a crear diferentes programas de investigación para responder a problemas tales como el “procesamiento de lenguaje natural mediante tecnologías convergentes” o “para el tratamiento de la obesidad”.⁹ El grupo enfatiza que aunque las tecnologías convergentes ofrezcan “una oportunidad para resolver problemas sociales, beneficiar a individuos y generar riqueza”, entrañan también “amenazas a la cultura y la tradición, a la integridad humana y la autonomía, y tal vez a la estabilidad económica y política”.¹⁰

El Grupo ETC se refiere a las tecnologías convergentes como BANG, siglas de *Bits*, *Átomos*, *Neuronas* y *Genes*, las unidades básicas de información de las tecnologías transformadoras. La unidad operativa de la informática es el *Bit*; la nanotecnología manipula *Átomos*; la ciencia cognitiva lidia con *Neuronas* y la biotecnología trabaja con los *Genes*. Juntas conforman el BANG. A principios de 2003, el Grupo ETC alertó que BANG afectará profundamente las economías, el comercio y los modos de vida nacionales —incluida la producción agrícola y de alimentos— en países del Sur y del Norte.¹¹ BANG permitirá que la seguridad y la salud humanas —incluso la diversidad cultural y genética—, estén firmemente en las manos de una tecnocracia de la convergencia.

En 2003, el Grupo ETC alertó que BANG afectará profundamente las economías, el comercio y los modos de vida nacionales —incluida la producción agrícola y de alimentos— en países del Sur y del Norte.

BANG permitirá que la seguridad y la salud humanas —incluso la diversidad cultural y genética—, estén firmemente en las manos de una tecnocracia de la convergencia.

La liberación de nano partículas debe restringirse, debido a los potenciales efectos que puedan tener en el ambiente y la salud humana.

Nanotecnología y Regulación
dentro del marco del Principio
Precautorio.
Informe Final
para el ITRE Committee,
del Parlamento Europeo,
febrero de 2004

Mantener las nano partículas fuera del ambiente

En 2002, el Grupo ETC llamó a una moratoria sobre la liberación de partículas nanométricas manufacturadas hasta que se establecieran los controles de laboratorio requeridos para proteger a los trabajadores, y hasta que se fijaran regulaciones que protegieran a los consumidores. (La expectativa de vida de un doctor en química que trabaje en laboratorios estadounidenses es cerca de diez años menor que la de sus contrapartes que no trabajan en laboratorios.¹² Según estas evidencias, por qué demorarnos en tomar medidas precautorias.) Sigue creciendo la cantidad de pruebas que respaldan el llamado a una moratoria.¹³

La aplicación de nano partículas en la agricultura genera inquietudes por la salud y el ambiente, puesto que las nano partículas parecen demostrar una toxicidad diferente de las versiones más grandes del mismo compuesto. En 2003, la doctora Vyvyan Howard, editora fundadora del *Journal of Nanotoxicology*, emprendió, para el Grupo ETC, una revisión de la literatura científica relativa a la toxicidad de las nano partículas. La doctora Howard concluyó que, como clase, las nano partículas parecen ser más tóxicas como resultado de su tamaño menor, y anotó que dichas nano partículas pueden entrar más fácilmente en el cuerpo, cruzando las membranas protectoras tales como la piel, la barrera sanguínea del cerebro e incluso la placenta.

Un estudio publicado por la doctora Eva Oberdörster en julio de 2004, se encontró que las lobinas de boca grande (unos peces) expuestas a pequeñas cantidades de *buckyballs* (nano partículas esféricas manufacturadas con 60 átomos de carbono, también conocidas como fullerenos) sufrieron rápidamente daño cerebral, y que las pulgas de agua que vivían en vecindad con tales peces, murieron.¹⁴ Otros estudios muestran que las nano partículas pueden moverse de manera inesperada a través del suelo, y potencialmente pueden acarrear otras sustancias con ellas. Debido a los huecos en nuestro conocimiento, muchos expertos comentaristas están recomendando que debe minimizarse o prohibirse del todo la liberación de nano partículas al ambiente. En febrero de 2004, los expertos Haum, Petschow y Steinfeldt, alertaron en el informe final para el ITRE Committee, del Parlamento Europeo: “La liberación de nano partículas debe restringirse, debido a los potenciales efectos que pueda tener en el ambiente y la salud humana”.¹⁵

Por otra parte, la Royal Society and Royal Academy of Engineering (la Real Sociedad y Real Academia de Ingeniería) en el documento “Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties”, de julio de 2004, insiste en que: “No hay virtualmente información disponible alguna acerca del efecto de las nano partículas sobre otras especies salvo los humanos, o de cómo se comportan en el aire, el agua o los suelos, o de su capacidad para acumularse en las cadenas alimenticias. Hasta que sepamos más acerca de su impacto ambiental insistiríamos en que debe evitarse, hasta donde sea posible, la liberación al ambiente de nano partículas y nano tubos. Como medida precautoria, recomendamos específicamente que las fábricas y laboratorios de investigación le den tratamiento de residuos de alto riesgo a las nano partículas y nano tubos manufacturados, y que se prohíba el uso de nano partículas libres en aplicaciones ambientales tales como la remediación de aguas internas”.

1. LA NANO AGRICULTURA : UNA INVASIÓN INVISIBLE DEL AGRO

En diciembre de 2002, el departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) bosquejó el primer “mapa de ruta” para la aplicación de la nanotecnología a la agricultura y la alimentación.¹⁶ Un vasto grupo de diseñadores de políticas, representantes de donaciones universitarias y científicos corporativos se reunieron en la Universidad de Cornell (en el estado de Nueva York, Estados Unidos) para compartir sus puntos de vista sobre cómo rehacer la agricultura utilizando tecnologías nanoscópicas. Desde 2003, la investigación nanotecnológica del USDA había recibido apoyo monetario de la iniciativa gubernamental de nanotecnología a nivel nacional (National Nanotechnology Initiative o NNI por sus siglas en inglés). Pero el USDA recibe una tajada relativamente delgada del pastel de los fondos —se espera que esta agencia reciba 5 millones de dólares en fondos para nanotecnología en el año fiscal 2005—, apenas el 0.5 por ciento de los fondos totales de la NNI.

De acuerdo con la nueva visión nanométrica, la agricultura debe ser más uniforme, más automatizada, industrializada y reducida a funciones simples. En el futuro con visión molecular, el agro será una bio fábrica de gran extensión que pueda monitorearse y maniobrase desde una computadora portátil. Los alimentos serán manufacturados a partir de sustancias diseñadas que administren los nutrientes al cuerpo de manera eficiente.

La nano biotecnología incrementará el potencial agrícola para cosechar insumos alimentarios destinados a procesos industriales. En el escenario de una nueva economía nanométrica de “materia prima dúctil”, los bienes agrícolas tropicales como el caucho, el cacao, el café y el algodón —y los productores en pequeña escala que los cultivan— terminarán siendo extraños e irrelevantes pues las propiedades de las nano partículas industriales pueden ajustarse para crear nuevos reemplazos, más baratos y “más inteligentes”.

Así como la agricultura genéticamente modificada condujo a nuevos niveles de concentración corporativa en todos los eslabones de la cadena alimentaria, la nanotecnología privada, desplegada de la semilla hasta el estómago, del genoma al gajate, fortalecerá el control que la agro industria tiene ya sobre la agricultura y la alimentación globales en todos sus pasos —supuestamente en aras de alimentar a los hambrientos, proteger el ambiente y proporcionar mayores opciones a los consumidores.

Los científicos manipulan los alimentos y la agricultura a nivel molecular en dos estadios, pues la agricultura nanométrica conecta los nodos en la cadena industrial alimentaria y va un paso más allá: con las nuevas técnicas de escala nanométrica (que permiten mezclar y aparejar los genes), las plantas genéticamente modificadas se tornan plantas atómicamente modificadas. Se pueden adosar pesticidas con mayor precisión para acabar con plagas no deseadas, y mediante diseño de ingeniería de alimentos se pueden procesar los nutrientes naturales y los sabores artificiales para satisfacer el paladar. Se impulsa una visión de control centralizado y automatizado de la agricultura industrial usando sensores moleculares, sistemas moleculares de suministro de sustancias y mano de obra barata.

Semillas miniaturizadas

Reorganizar los procesos naturales no es una idea nueva. Con el fin de incrementar ganancias, durante la Revolución Verde los científicos de los países del Norte criaron plantas semi enanas que absorbían de mejor manera los fertilizantes sintéticos, lo que provocó que las plantas necesitaran más pesticidas. Para ahondar la dependencia, la industria agrícola biotecnológica diseñó plantas que pudieran tolerar químicos tóxicos. La biotecnología agrícola tuvo una opción: pudo haber estructurado nuevos químicos que respondieran a las necesidades de las plantas o manipular las

Los recursos genéticos procedentes de los cultivos existen en dos formas complementarias y entrelazadas —los genes de los cultivos y el saber humano relativo a las especies, incluido el saber transmitido por generaciones de agricultores. El saber indígena, tanto como los genes de los cultivos, es parte del sistema evolutivo de una especie cultivada, y determina los rasgos que se mantendrán y los que no.

STEPHEN B. BRUSH,
Farmers' Bounty, 2004

Si los agricultores no tienen el control de las nuevas tecnologías que los afectan ni la oportunidad de participar en el establecimiento de las prioridades de la investigación, es probable que las tendencias de la ciencia de escala nanométrica consoliden el poder de las corporaciones y marginen los derechos de los agricultores.

plantas para cumplir los requisitos de los herbicidas. Y las industrias optaron por conservar sus herbicidas. Ahora las compañías involucradas en la nanotecnología siguen por el mismo camino —y buscan nuevas maneras para que la vida y la materia sirvan a los intereses de la industria.

La mayor parte de la crianza de plantas en el mundo la conducen los agricultores mediante la selección, el ahorro y el cultivo de semillas y, además, son los principales custodios de la diversidad genética de las plantas esenciales para el abasto mundial de alimentos, presente y futuro. Este proceso, de miles de años de antigüedad, no requiere ni de microscopios de fuerza atómica ni de un doctorado en bioquímica. Si los agricultores no tienen el control de las nuevas tecnologías que los afectan ni la oportunidad de participar en el establecimiento de las prioridades de la investigación, es probable que las tendencias de la ciencia de escala nanométrica como las que a continuación se identifican consoliden el poder de las corporaciones y marginen los derechos de los agricultores.

Terapia genética para plantas. Los investigadores desarrollan nuevas técnicas que utilizan nano partículas que les permiten introducir ADN ajeno a una célula, de contrabando. Por ejemplo, en el laboratorio Oak Ridge (el laboratorio nacional del departamento de Energía estadounidense), que jugó un papel central en la producción del uranio enriquecido utilizado en el Proyecto Manhattan (que condujo a la bomba atómica), los investigadores descubrieron una técnica de escala nanométrica para simultáneamente inyectar ADN a millones de células. Se ha logrado que millones de nano fibras de carbono con sargas de ADN sintético adheridas, crezcan de un chip de silicio.¹⁷ Se lanzan entonces las células vivas contra las fibras que las perforan y les inyectan ADN en el proceso: “es como lanzar un montón de pelotas de beisbol contra una cama con clavos... literalmente arrojamos las células contra las fibras y luego aplastamos las células dentro del chip para que las fibras penetren bien en ellas”, dice Timothy McKnight, ingeniero del laboratorio Oak Ridge.¹⁸ Una vez inyectado el ADN sintético, éste expresa nuevas proteínas y nuevos rasgos.

Oak Ridge colabora ahora con el Institute of Paper Science and Technology (un instituto en ciencia y tecnología papelera) en un proyecto que procura usar esta tecnología para manipular genéticamente el pino “de incienso”, fuente primaria de la pulpa requerida en la industria papelera estadounidense.

A diferencia de los métodos de ingeniería genética existentes, la técnica desarrollada por los científicos de Oak Ridge no transmite los rasgos modificados a las siguientes generaciones porque, en teoría, el ADN se mantiene adherido a la nano fibra de carbono, y no puede integrarse al genoma propio de la planta. La implicación es que sería posible reprogramar las células por una sola vez. Según los científicos de Oak Ridge, esto podría desterrar la cautela que se guarda hacia las plantas genéticamente modificadas, donde existe un flujo genético entre organismos no relacionados y donde se reacomodan o desaparecen genes dentro de una especie. Si la nueva técnica permite a los investigadores apagar o

Noticia: Los científicos están indecisos ante la necesidad de la regulación de nano partículas



“Estoy buscando un escondite”

prender un rasgo clave, como por ejemplo la fertilidad, ¿podrá ocurrir que las corporaciones semilleras usen diminutos *terminators* para evitar que los campesinos guarden y reutilicen las semillas cosechadas, empujándolos a recurrir al mercado de semillas comerciales año tras año para obtener el rasgo genético activado que necesitan?

Esta aproximación genera de inmediato algunas inquietudes relativas a la seguridad: ¿qué ocurriría si las nano fibras son ingeridas por la fauna silvestre o por humanos. Cuáles son los impactos ambientales de que las nano fibras entren en otros organismos y causen la expresión de nuevas proteínas. ¿Dónde se van las nano fibras cuando la planta se descompone en el suelo.

Las nano fibras de carbono son comparables a las fibras de asbesto, pues tienen formas semejantes. Los estudios iniciales acerca de la toxicidad de las nano fibras de carbono han demostrado inflamación de las células. Un estudio de la NASA encontró inflamación de los pulmones más severa que en los casos de silicosis,¹⁹ pese a que el premio Nobel Richard Smalley, director de Carbon Nanotechnologies le concede muy poco peso a estas preocupaciones, y se queja: “tenemos confianza en que se demostrará que no existe riesgo alguno a la salud, pero estos trabajos [en toxicología] continúan”.²⁰

Semillas atómicamente modificadas. En marzo de 2004, el Grupo ETC informó de una iniciativa nanotecnológica en Tailandia que intenta modificar atómicamente las características de las variedades locales de arroz.²¹ Durante el proyecto, de tres años de duración, los investigadores del laboratorio de física nuclear de la Universidad Chiang Mai “taladraron” un agujero a través de la membrana de una célula de arroz para insertar un átomo de nitrógeno que estimularía el reacomodo del ADN del cereal.²² Hasta ahora, los investigadores han podido alterar el color de una variedad local de arroz, de púrpura a verde. En entrevista telefónica, el doctor Thirapat Vilaithong, director del Fast Neutron Research Facility de Chiang Mai, le dijo a Biodiversity

Action Tailandia (Biothai, su acrónimo en inglés) que su siguiente objetivo era el famoso arroz jazmín originario de Tailandia.²³ El propósito de su investigación es desarrollar variedades del arroz jazmín que puedan crecer durante todo el año, con tallos más cortos y mejoras en el color del grano.²⁴

Según el doctor Vilaithong, uno de los atractivos de esta técnica a escala nanométrica es que, al igual que el proyecto Oak Ridge, no requiere la controvertida técnica de la modificación genética. “Al menos podemos evitarla”, dijo el doctor Vilaithong.²⁵ Las organizaciones de la sociedad civil tailandesa son escépticas de los beneficios.

Plaguicidas nanométricos: venenos encapsulados

Están ya en el mercado plaguicidas que contienen ingredientes activos nanométricos, y muchas de las principales firmas agro químicas del mundo llevan a cabo investigación y desarrollo para arribar a nuevas fórmulas de nano escala en la producción de pesticidas (*ver la sección Gigantes genéticos, investigación y desarrollo en el proceso de encapsulación*). Por ejemplo:

BASF de Alemania, la cuarta corporación agro química más importante del mundo (y la compañía química más grande del mundo), reconoce la utilidad potencial de la nanotecnología en la formulación de pesticidas.²⁷ BASF lleva a cabo investigación básica y ha solicitado una patente de la fórmula de un plaguicida —“Nano partículas que integran un agente protector de cultivos”— que implica un ingrediente activo cuyo tamaño ideal es de entre 10 y 150 nm.²⁸ La ventaja de la nano fórmula es que el plaguicida se disuelve más fácilmente en el agua (para simplificar su aplicación en los cultivos); es más estable y más óptima su capacidad química de matar (sea herbicida, insecticida o fungicida).

Bayer Crop Science, de Alemania, la segunda firma más grande del mundo en lo referente a pesticidas, solicitó una patente para agro químicos que asumen la forma de una emulsión

No consideramos que el arroz atómicamente modificado sea más seguro ni socialmente más aceptable que el arroz genéticamente modificado. Suena como la misma aproximación de alta tecnología que no responde a nuestras necesidades y que puede ocasionar severos contratiempos a los agricultores arroceros tailandeses.

WITOON LIANCHAMROON,
Biodiversity Action Tailandia
(Biothai)²⁶

Muchas de las principales firmas agro químicas del mundo llevan a cabo investigación y desarrollo para arribar a nuevas fórmulas de nano escala en la producción de pesticidas.

Según la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA), un plaguicida formulado de nuevo como nano emulsión no requiere una re evaluación regulatoria porque no sería “un nuevo químico, una nueva forma química” ni tendría “un uso significativamente novedoso”.

cuyo ingrediente activo está hecho de gotitas nanométricas del rango de entre 10 y 400 nm.²⁹ (Una emulsión es un material en el que un líquido se dispersa en otro —la mayonesa y la leche son emulsiones.) La compañía describe el invento como “un concentrado de micro emulsión”, con la ventaja de que reduce la tasa de aplicación, muestra una “acción más rápida y confiable” y “un efecto de más largo plazo”.

Syngenta, con sede en Suiza, es la corporación agro química más grande del mundo y la tercera compañía de semillas más grande. Syngenta ya vende productos plaguicidas formulados como emulsiones que contienen gotitas nanométricas. Al igual que Bayer Crop Science, Syngenta describe estos productos como *concentrados de micro emulsión*. Por ejemplo, el regulador de crecimiento de plantas Primo MAXX (diseñado para evitar que el pasto de los campos de golf crezca muy rápido) y su fungicida Banner MAXX (para tratar el césped de los campos de golf) son plaguicidas a base de aceite mezclado con agua que luego se calientan para crear una emulsión. Syngenta alega que el tamaño extremadamente pequeño de las partículas de ambos productos (unos 100 nm, o 0.1 de micra) evita que se tapen los filtros de los tanques, y que los químicos se disuelven tan completamente en el agua que no se asientan en los tanques de aspersión.³⁰ El fungicida Banner MAXX no se separa del agua hasta por el lapso de un año, mientras que es común que los fungicidas que contienen partículas más grandes del ingrediente deban agitarse cada dos horas para evitar una aplicación incorrecta y el taponado de los recipientes.³¹ Syngenta afirma que las partículas de su fórmula son 250 veces más chicas que las de los pesticidas típicos. Según la empresa, se absorben así en el sistema de la planta y no las puede lavar la lluvia o la irrigación.³²

El Grupo ETC no cuestiona el cumplimiento de las actuales regulaciones relativas a plaguicidas por parte de los Gigantes Genéticos. Los plaguicidas que contienen ingredientes activos nanométricos no requieren una revi-

sión reguladora especial, de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA, por sus siglas en inglés): un plaguicida formulado de nueva cuenta como nano emulsión no requeriría una re evaluación regulatoria porque no sería “un nuevo químico, una nueva forma química” ni tendría “un uso significativamente novedoso”.³³ La doctora Bárbara Karn de la oficina de investigación y desarrollo de la EPA, asegura que “un plaguicida no se comportará diferente a nivel químico cuando se halla formulado como emulsión”.³⁴ Karn ahonda la explicación diciendo que “no hay diferencias en las propiedades de la solución plaguicida debidas a la incorporación de estas gotitas, pues los químicos plaguicidas, en sí mismos, no muestran propiedades diferentes”.³⁵ Sorprende que la EPA no considere las nano emulsiones de Syngenta materiales nanométricos basados en la nanotecnología. La respuesta de la EPA resalta la falta de claridad en torno a lo que se considera nanotecnológico. Mientras la industria agro química explota el tamaño para cambiar las características y el comportamiento de sus plaguicidas, la EPA concluye que, en el caso de las nano emulsiones, el tamaño no importa.

Los Gigantes Genéticos —investigación y desarrollo en el proceso de encapsulado. Una aproximación más sofisticada en la formulación de plaguicidas nano escalares implica un proceso de encapsulado: empacar el ingrediente activo nanométrico dentro de una especie de “envoltura” o “cubierta” diminuta. Los ingredientes alimenticios y los agro químicos en forma micro encapsulada han estado en el mercado por varias décadas. Según la industria, reformular los pesticidas en micro cápsulas disparó “cambios revolucionarios”, incluida la posibilidad de controlar las condiciones bajo las cuales un ingrediente activo se libera (*ver recuadro*). Según la industria agro química, reformular los plaguicidas en micro cápsulas puede expandir la protección de las patentes, incrementar la solubilidad, reducir el contacto de los ingredientes activos con los jornaleros agrícolas y resultar ventajoso en lo

ambiental, pues reduce las tasas de escurrimiento.³⁶

Monsanto, con sede en Estados Unidos, el proveedor más grande de tecnología de semillas genéticamente modificadas del mundo y fabricante del herbicida más popular, el RoundUp, vende ya algunos plaguicidas micro encapsulados. En 1998, Monsanto entró en acuerdos con Flamel Nanotechnologies para desarrollar nano cápsulas “Agsome” de RoundUp, lo que sería químicamente más eficiente que la fórmula convencional. Sin embargo, de acuerdo al vocero de Flamel, la motivación real del contrato fue el deseo de Monsanto de asegurar la patente para el herbicida RoundUp por otros 17 o 20 años.³⁷ El acuerdo entre Monsanto y Flamel se rompió dos años después por razones desconocidas.

Syngenta se auto denomina “líder mundial” en la tecnología de cápsulas microscópicas y alega ser pionero en pesticidas micro encapsulados.³⁸ Cada litro de la fórmula micro encapsulada del plaguicida Zeon, con marca registrada, contiene unos 50 billones de cápsulas diseñadas para una “rápida liberación”, que se abren al contacto con la hoja de la planta.³⁹ Dado que las cápsulas se adhieren fuertemente a las hojas, resisten ser lavadas por la lluvia. Un producto micro encapsulado semejante, también de Syngenta, se aplica a las semillas para el control de plagas del suelo en almácigos en proceso de germinación.

Syngenta ha desarrollado otro insecticida encapsulado para el control de plagas caseras como cucarachas, hormigas y escarabajos y un tratamiento duradero para la gasa de los mosquiteros. Los científicos de Syngenta investigan cápsulas con gatillos de liberación de sustancias, cuya cubierta exterior se abre únicamente bajo condiciones especiales. Por ejemplo, Syngenta tiene la patente de una micro cápsula “destroza vientres” que se abre

en un ambiente alcalino como los estómagos de ciertos insectos.⁴⁰

Syngenta presume de que el “micro encapsulado resalta como una técnica capaz de producir nuevos y sorprendentes efectos de los ingredientes conocidos, y las ventas aumentan tan rápido que parecería que un nuevo ingrediente activo fue inventado”.⁴¹ En otras palabras, la fórmula para encapsular plaguicidas ofrece más impacto para quien favorece los plaguicidas porque el menor tamaño optimiza la efectividad del agente activo y la cápsula puede diseñarse de tal modo que lo libere bajo una variedad de circunstancias. Syngenta experimenta con plaguicidas nano encapsulados.⁴²

El Grupo ETC no está en posición de evaluar si los pesticidas formulados como gotitas nanoscópicas —sean encapsuladas o en forma de nano emulsiones— muestran cambios en sus propiedades relativos a los “efectos cuánticos” que exhiben las nano partículas diseñadas. Sin embargo, es claro que el ímpetu de formular plaguicidas a escala nanométrica proviene del comportamiento diferente del producto reformulado: la fuerza del ingrediente activo puede maximizarse y ser más duradera la actividad biológica (y en el caso de los plaguicidas encapsulados, controlar el momento de liberación del químico clave).

En otras áreas, como la industria de cosméticos, las emulsiones nanoscópicas son consideradas muy efectivas como mecanismo para distribuir los aceites por la piel.⁴³ Pueden también mostrar propiedades anti bacterianas por el resultado mecánico de la fusión de las gotas diminutas al romperse las paredes celulares de las bacterias. Las emulsiones nanométricas pueden usarse para dañar las células de la sangre y el esperma (es decir, como anti conceptivos).⁴⁴ En el caso de las nano emulsiones plaguicidas, no es claro si las propiedades anti bacterianas son relevantes y/o si se han evaluado sus impactos sobre el suelo y otros microbios.

Es claro que el ímpetu de formular plaguicidas de escala nanométrica proviene del comportamiento diferente del producto reformulado: la fuerza del ingrediente activo puede maximizarse y ser más duradera la actividad biológica.

Un control encapsulado

La nanotecnología permite que las compañías manipulen las propiedades de la cubierta exterior de una cápsula con el fin de controlar el momento de la liberación de sustancias que han de administrarse. Las estrategias de “liberación controlada” son muy apreciadas en medicina pues permiten que los medicamentos se absorban más lentamente, en un punto específico del cuerpo o ante el comando de un disparador externo. Como existen varias aplicaciones potenciales a lo largo de la cadena alimenticia (pesticidas, medicina veterinaria, comida mejorada en lo relativo a nutrientes), las compañías agro industriales y de comestibles como Monsanto, Syngenta y Kraft desarrollan y patentan estas formulaciones nano y microscópicas.

Los siguientes son algunos ejemplos de cápsulas nanométricas y microscópicas:

Liberación lenta —la cápsula suelta su contenido lentamente y por un periodo más prolongado (digamos, la lenta liberación de una sustancia en el cuerpo).⁴⁵

Liberación rápida —la cubierta de la cápsula se rompe al contacto con una superficie (digamos cuando un plaguicida toca una hoja).⁴⁶

Liberación específica —la cubierta está diseñada para romperse cuando un receptor molecular se encadena a un químico específico (por ejemplo cuando se topa con un tumor o con una proteína en el cuerpo).⁴⁷

Liberación sensible a la humedad —la cubierta se desintegra y suelta su contenido en presencia de agua (por ejemplo en el suelo).⁴⁸

Liberación sensible al calor —la cápsula suelta sus ingredientes sólo cuando el ambiente se calienta por arriba de cierta temperatura.⁴⁹

Liberación sensible al pH —la nano cápsula se rompe sólo en un ambiente específicamente ácido o alcalino (por ejemplo en el estómago o al interior de una célula).⁵⁰

Liberación disparada por ultrasonido —una frecuencia externa de ultrasonido quiebra la cápsula.⁵¹

Liberación magnética —una partícula magnética en la cápsula rompe la cubierta al ser expuesta a un campo de atracción.⁵²

Nano cápsulas de ADN —la cápsula introduce de contrabando una sarta pequeña de ADN extraño en una célula viva, la cual, una vez liberada, secuestra los mecanismos de la célula y expresa una proteína específica (usada en vacunas de ADN).⁵³

La nanotecnología permite que las compañías manipulen las propiedades de la cubierta exterior de una cápsula con el fin de controlar el momento de la liberación de sustancias que han de administrarse.

Redimensión de nano cápsulas y micro cápsulas. Según la industria, el encapsulado ofrece las siguientes ventajas:⁵⁴

- * Una actividad biológica más prolongada.
- * Menos fusión con el suelo, lo que permite un mayor control de plagas.
- * Menor exposición del trabajador.
- * Mejora la seguridad, al retirar los solventes inflamables.
- * Reduce el daño a los cultivos.
- * Menos plaguicida perdido en la evaporación.

- * Menos efectos en otras especies.
- * Menor impacto ambiental.
- * Evita la degradación de los ingredientes activos a causa de la luz solar.
- * El plaguicida concentrado se vuelve más fácil de manejar.

Inquietudes generadas por el encapsulado:

- * Si la actividad biológica es más prolongada, también la exposición de los trabajadores y su efecto en el ambiente lo es; puede verse afectada la vida del suelo y los insectos benéficos.

- * ¿Pueden entrar a la cadena alimenticia los plaguicidas nanoscópicos que absorben las plantas?
- * Dado que es más fácil que estos plaguicidas se fabriquen en forma de aerosoles de polvos y gotitas, entonces es más fácil inhalarlos y tal vez sea mayor la amenaza a la salud y la seguridad.
- * ¿Pueden presentar una toxicidad diferente los plaguicidas formulados como nano cápsulas o gotas nanométricas y como tal entrar al cuerpo y afectar la vida silvestre siguiendo nuevas rutas de exposición, por ejemplo, a través de la piel? (*ver recuadro, Mantener las nano partículas fuera del ambiente*).
- * Tienen potencial como vehículo de armamento biológico.
- * ¿Hay otros disparadores externos que pueden afectar la liberación de los componentes activos (encadenamiento químico, calor o descomposición de la cápsula)?
- * Las micro cápsulas son semejantes en tamaño al polen y pueden envenenar a las abejas o llevarse a las colmenas e incorporarse en la miel. Debido a su tamaño, “se considera que los insecticidas micro encapsulados son más tóxicos para las abejas que cualquier otra formulación desarrollada hasta ahora”.⁵⁵ ¿Serán más letales las nano cápsulas?
- * No se sabe cómo se comportarán en el vientre humano si se ingieren con la comida aquellas nano cápsulas “que no estallaron”.

Implicaciones del encapsulado para el armamento nano biológico. Las cápsulas nanoscópicas y microscópicas son un vehículo ideal para liberar cargas biológicas y químicas usadas como armamento, porque muy fácilmente pueden transportar sustancias con el fin de dañar a los humanos, al igual que llevan sustancias que matan hierbas y plagas. Debido a su pequeñez, las cápsulas nanométricas de ADN pueden entrar al organismo sin ser detectadas por el sistema inmunológico y activarse mediante los propios mecanismos celulares que producen compuestos tóxicos. El aumento de la disponibilidad y estabilidad biológicas de las

sustancias encapsuladas a escala nanométrica en el ambiente puede ofrecerle ventajas a las Gigantes Genéticas, pero los mismos rasgos las hacen vehículos extremadamente potentes en la guerra biológica. Además, debido al incremento de la disponibilidad biológica, sólo se requiere una pequeña cantidad del químico.

Cuando se programa su activación externa mediante frecuencias magnéticas o de ultrasonido, se pueden disparar a control remoto, lo que sugiere varios escenarios sombríos. ¿Podrían las corporaciones agro químicas/de semillas activar disparadores a distancia para hacer fracasar los cultivos de los agricultores que infringen la patente de la compañía o que no siguen las prácticas de producción prescritas por ella? Qué ocurriría si un grupo terrorista o un ejército enemigo añaden algunas cápsulas nanoscópicas, que contengan un poderoso compuesto, a las reservas regionales del agua.

Según The Sunshine Project, el Grupo Australia (un grupo de 24 naciones industrializadas) propuso recientemente que las tecnologías de micro encapsulado se añadieran a la lista común de tecnologías prohibidas de exportar a los países “no confiables”, por temor a que se usen como armas biológicas.⁵⁷ Los documentos obtenidos por el Sunshine Project muestran también que los militares estadounidenses patrocinaron en 1999-2000 a la Universidad de New Hampshire para desarrollar cápsulas microscópicas que contienen químicos corrosivos y anestésicos (para provocar la inconsciencia). Los documentos describen cómo podrían dispararse tales cápsulas microscópicas contra una multitud, corroer los atuendos protectores, y luego abrirse al contacto con la humedad de la piel humana.⁵⁸

**Agricultura de precisión:
del polvo inteligente
a campos de cultivo inteligentes**

Agricultura robótica con nano sensores: El término *agricultura de precisión* (conocida también como manejo específico de localidades), describe un grupo de nuevas tecnologías informáticas aplicadas al manejo de la agri-

“La expresión última de esta tecnología sería el desarrollo de un vector que encapsule, proteja, penetre y libere agentes propios de una guerra biológica con base de ADN, a ciertas células, pero que no sean reconocidos por el sistema inmunológico. Tal agente “subrepticio” podría evadir las actuales estrategias médicas de defensa.”

Analistas de la agencia de
inteligencia militar
(Defense Intelligence Agency)
del gobierno de Estados Unidos,
Washington DC.⁵⁶

¿Podrían las corporaciones agro químicas/de semillas activar disparadores a distancia para hacer fracasar los cultivos de los agricultores que infringen la patente de la compañía o que no siguen las prácticas de producción prescritas por ella?

El USDA trabaja en promover y desarrollar un “Sistema de Campos Inteligentes” total, que automáticamente detecta, localiza, informa y aplica agua, fertilizantes y plaguicidas —trascendiendo el acopio de información hacia una aplicación automática.

Las mejoras en la tecnología de sensores nos llevarán a un nivel totalmente nuevo en la medición del proceso de crecimiento, del ambiente circundante, de la operación de la maquinaria y mucho más. Automatizará el proceso que antes requería de la intervención humana. Así que en vez de ajustar el sistema de palancas de nuestro tractor, se capta el ambiente y las herramientas hacen ajustes automáticos. En algunos casos, se requerirán menos habilidades para cumplir ciertas tareas.

MIKE BOEHLJE,
centro de agro industria y alimentos
de Purdue University⁶⁰

cultura comercial de gran escala. Las tecnologías de la agricultura de precisión incluyen computadoras personales, sistemas geoposicionadores, sistemas de información geográfica, control automatizado de maquinaria, dispositivos sensores a distancia y telecomunicaciones.

El siguiente relato proviene de un boletín de prensa del laboratorio de sensores a control remoto de Illinois: “Cinco de la mañana. Un granjero del Medio Oeste se bebe un café frente a su computadora. Las imágenes satelitales minuto a minuto le muestran un problema de hierbas en un campo en la esquina noroeste de su predio. A las 6:30, el agricultor llega en su vehículo hasta el sitio exacto para aplicar la cantidad precisa de herbicida”.⁵⁹

La agricultura de precisión descansa en la detección intensiva de las condiciones ambientales y en el precesamiento en computadora de los datos resultantes, de tal modo que puedan realizarse decisiones basadas en la información que activen la maquinaria de control agrícola. Es común que las tecnologías de agricultura de precisión conecten sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés) con imágenes satelitales de los campos, para detectar plagas en los cultivos o indicios de una sequía, para luego, automáticamente, ajustar los niveles de la irrigación o de la aplicación de plaguicidas conforme el tractor se mueve por la tierra de labor. Monitores de rendimiento ajustados a segadoras combinadas miden los niveles y la cantidad de humedad de los granos conforme se cosechan en diferentes sectores del campo de cultivo, lo que genera modelos de computadora que guiarán las decisiones en torno a la forma y los momentos particulares de aplicación de los insumos. La agricultura de precisión promete mayores rendimientos y costos de insumo menores, al modernizar el manejo agrícola reduciendo, por tanto, los costos del desperdicio y de la mano de obra. Ofrece también potencial para el empleo de operarios menos capacitados y más baratos dado que, en teoría, tales sistemas simplifican y centralizan la toma de decisiones. En el futuro, la agricultura de precisión será semejante a una agricul-

tura robótica, pues la maquinaria agrícola está diseñada para operar de manera autónoma, adaptándose de continuo a los datos que surgen.

De funcionar de acuerdo a su diseño, los sensores inalámbricos se volverán una herramienta esencial que hará madurar esta visión de la agricultura. Al esparcirlos por la tierra labrantía, se espera que la red de sensores proporcione datos detallados de las condiciones del suelo y las plantas y envíe dicha información, en tiempo real, a una localidad remota, de tal manera que inspeccionar los cultivos ya no le ensucie las botas al agricultor (o al ejecutivo de la agro empresa). Dado que muchas condiciones que un agricultor quiera supervisar (digamos la presencia de virus en las plantas o el nivel de nutrientes del suelo) operan en la nano escala, y dado que a nivel nanométrico las superficies pueden alterarse para empastar selectivamente con ciertas proteínas biológicas, los sensores con sensibilidad nanoscópica pueden ser particularmente importantes en esta visión agrícola.

Quien conduce el coro del entusiasmo por los “campos inteligentes” enlazados por sensores nanoscópicos inalámbricos es el departamento de Agricultura estadounidense (USDA por sus siglas en inglés). Es la Tecnología del Hermanito⁶¹ según la apodaron originalmente (en alusión minúscula al Gran Hermano todo vigilante de la novela *1984*, de George Orwell), gracias a la cual, la dependencia gubernamental considera que el desarrollo de sensores para uso agrícola es una de sus más importantes prioridades de investigación.⁶² El USDA trabaja en promover y desarrollar un “sistema de campos inteligentes” total, que automáticamente detecta, localiza, informa y aplica agua, fertilizantes y plaguicidas —trascendiendo el acopio de información hacia una aplicación automática.

La industria ya experimenta con redes de sensores inalámbricos en la agricultura. El fabricante de *chips* de computadora, Intel, cuyos *chips* tienen rasgos nano escalares,⁶³ ha instalado nodos de sensores inalámbricos mayores (conocidos como “motas”) por todo un viñedo en Oregon, Estados Unidos.⁶⁴ Los sen-

sores miden la temperatura cada minuto y son un primer paso hacia la completa automatización del viñedo. Intel emplea a etnógrafos y científicos sociales para estudiar el comportamiento de los trabajadores del viñedo y ayudarles a diseñar el sistema. La visión de las redes inalámbricas es la “computación proactiva” —sistemas ubicuos que anticipan las necesidades del agricultor y actúan antes de que se les requiera. Con visión similar, la firma consultora multinacional, Accenture, se asoció con el fabricante de “motas” Millennial Net, para tender una red de sensores por un viñedo en California.⁶⁵

Según Crossbow Technologies, sus motas pueden usarse en el campo de cultivo para el manejo de la irrigación, la detección y la alerta de las heladas, la aplicación de pesticidas, los tiempos de cosecha, la bio remediación y contención, y la medición y control de la calidad del agua.

“Polvo inteligente”, “inteligencia ambiental”. La idea de que miles de sensores diminutos pueden esparcirse como ojos, oídos y narices invisibles por las tierras de cultivo y los campos de batalla suena a ciencia-ficción. Pero hace diez años, Kris Pister, profesor de robótica en la Universidad de California en Berkeley, recibió financiamiento de la agencia de proyectos de investigación avanzada en asuntos de defensa de Estados Unidos (la US Defense Advanced Research Projects Agency, o DARPA por sus siglas en inglés), para desarrollar sensores autónomos, cada uno del tamaño de una cabeza de cerillo. Utilizando una tecnología de grabado en silicio, estas motas (sensores o “polvo inteligente”) tendrían una fuente de energía en sí mismas, capacidad de computación y la posibilidad de detectar para luego comunicarse con otras motas en las inmediaciones. De esta forma, las motas individuales se auto organizarían en redes computacionales *ad hoc* capaces de transmitir datos mediante tecnología inalámbrica (de radio). El interés que de inmediato mostró DARPA en el proyecto tiene que ver con la posibilidad de desplegar redes de polvo inteligente por el terreno enemigo para retroalimentar, en tiem-

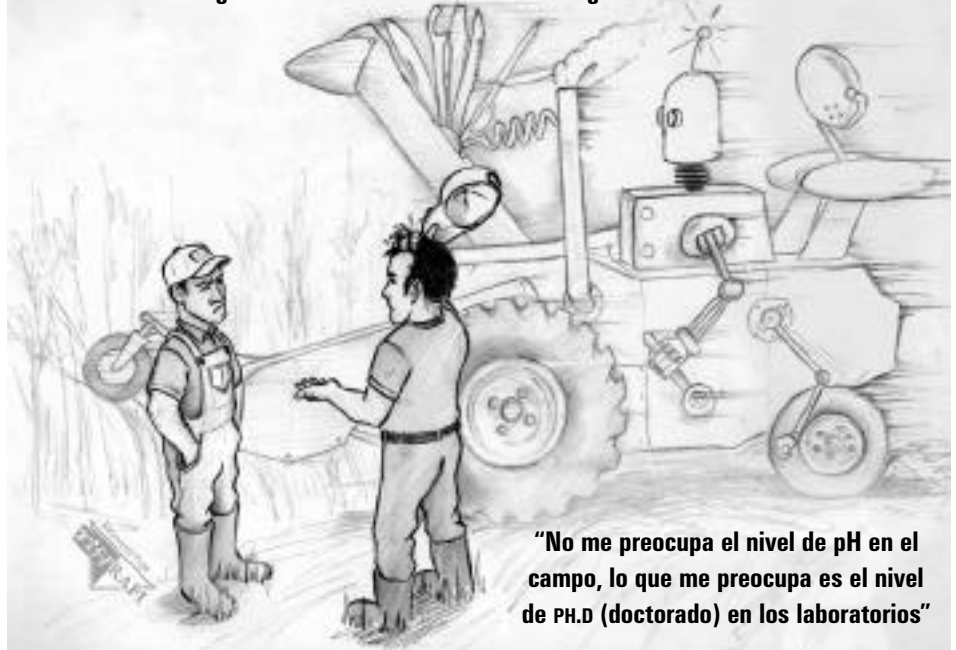
po real, el movimiento de las tropas, las armas químicas y otras condiciones presentes en el campo de batalla sin arriesgar las vidas de sus soldados. No obstante, al igual que en otro de los innovadores proyectos de DARPA —la red electrónica o *internet* como se le conoce mundialmente— pronto fue evidente que los diminutos sistemas de vigilancia podrían tener interminables aplicaciones civiles, desde monitorear el uso de la energía en los edificios de oficinas hasta rastrear bienes de consumo por las cadenas de abasto o supervisar datos ambientales.

Hoy, los sensores microscópicos y nanoscópicos como los que diseñó Kris Pister conforman una vasta área de investigaciones en las grandes compañías, de Intel a Hitachi. Son también un foco del desarrollo en todos los laboratorios nacionales de defensa estadounidenses y en campos tan dispares como la medicina, la energía y las comunicaciones. Medios informativos como *The Economist*, *Red Herring* y *Technology Review*, los venden como “la gran cosa nueva”: sensores inalámbricos incrustados en todo lo imaginable, desde la ropa que usamos a los entornos en que nos movemos, que podrían alterar fundamentalmente todo lo relativo a bienes de

Me imagino tierras de cultivo inteligentes donde literalmente toda... planta de vid tendrá su propio sensor... que asegura que obtendrá exactamente los nutrientes correctos, exactamente el agua apropiada. Imaginen el impacto que esto tendría, para fines agrícolas, en las áreas difíciles del mundo.

PAT GELSINGER,
funcionario de Intel Chief
Technology.⁶⁶

Noticia: las tecnologías nanométricas remodelarán la agricultura



“No me preocupa el nivel de pH en el campo, lo que me preocupa es el nivel de PH.D (doctorado) en los laboratorios”

En última instancia, es probable que los sensores incrementen la productividad, abatan los precios agrícolas, reduzcan la mano de obra y obtengan pequeñas ventajas para los más grandes operadores agro industriales en el mercado mundial.

consumo, servicios, el ambiente y el Estado. El propósito es desarrollar lo que los investigadores llaman “inteligencia ambiental” —entornos inteligentes que hacen uso de sensores e inteligencia artificial para predecir las necesidades de los individuos, respondiendo en concordancia: oficinas que ajustan los niveles de luz y calefacción durante el día o ropas que alteran sus colores o su tibieza según las condiciones ambientales externas. Un ejemplo sencillo de la inteligencia ambiental que ya está en uso son los sistemas de bolsas de aire en los carros de reciente fabricación, que “sienten” el choque inminente y despliegan su acojinamiento para suavizar el golpe al conductor.

Las motas de polvo diseñadas por Kris Pister están hoy muy lejos del nivel nanométrico (a grandes rasgos son del tamaño de una moneda), pero ya le otorgaron licencia a las compañías comerciales para desarrollarlas. En 2003, Pister estableció una compañía de lanzamiento del “polvo inteligente”, Dust, Inc. Las siguientes especulaciones de Kris Pister son una probadita de lo que puede ser una sociedad que profundice en la inteligencia ambiental:⁶⁷

* En 2010 una brizna de polvo en cada una de nuestras uñas le transmitirá movimiento dactilar a la computadora. Nuestras computadoras entenderán cuando se escribe, se apunta, se hace click, se gesticula, se esculpe o se toca guitarra en el aire.

* En 2010 los infantes no morirán de síndrome de muerte súbita, ni se sofocarán o ahogarán sin que una alarma avise a los padres. ¿Cómo cambiará la sociedad cuando la alberca de nuestros vecinos [sic] llame a nuestro celular para decirte que Juanito se ahoga y que somos los adultos más cercanos localizables?

* En 2020 no habrá enfermedades sorpresivas. Los implantes que supervisan afecciones crónicas vigilarán todos los sistemas de circulación del cuerpo humano y proporcionarán avisos tempranos de algún catarro inminente, o salvarán nuestra vida captando un cáncer lo sufi-

cientemente a tiempo como para extirparlo quirúrgicamente.

Nano sensores. Con los avances tecnológicos en curso, los sensores microscópicos encogen en tamaño mientras expanden sus capacidades de detección.

Los analistas predicen que el mercado de sensores inalámbricos valdrá en 2010 el equivalente a 7 mil millones de dólares.⁶⁸

Los sensores nanoscópicos de carbono (nano tubos y dispositivos nanométricos de balance por peso) son lo suficientemente pequeños para capturar y medir proteínas individuales o incluso moléculas. Las partículas o las superficies nanométricas pueden adaptarse para disparar una señal eléctrica o química en presencia de algún contaminante, digamos una bacteria. Otros sensores nanoscópicos funcionan disparando una reacción enzimática, o mediante moléculas ramificadoras llamadas dendrímeros que sondan químicos particulares y proteínas para ligarlos.

No es de sorprender que gran parte de la investigación en nano sensores financiada por el gobierno busque detectar diminutas cantidades de agentes biológicos bélicos, tales como el *anthrax* o algunas toxinas químicas, con el fin de contrarrestar ataques terroristas en suelo estadounidense, y para advertirle a los soldados, en el campo de batalla, de los posibles riesgos. Por ejemplo, el proyecto “Sensor-Net” del gobierno estadounidense, intenta tender una red de sensores por todo Estados Unidos que actúe como un sistema de alarma rápida ante amenazas químicas, biológicas, radiológicas, nucleares y explosivas.⁶⁹ Sensor-Net (red de sensores) integrará sensores microscópicos, nanoscópicos y convencionales en una red nacional que dará retroalimentación a la red estadounidense existente, que cuenta con 30 mil postes de telefonía móvil, conformando el esqueleto de un entramado de vigilancia sin paralelo a nivel nacional. El laboratorio de Oak Ridge prueba ahora, en campo, esta red de sensores. Los laboratorios de defensa del gobierno de Estados Unidos, tales como Los Alamos o Sandia, desarrollan, ellos mismos, sensores nanoscópicos.

Estado actual del polvo inteligente

Disponibles hoy en: Crossbow Technologies, Dust, Inc., Ember, Millennial Net

Habrá pronto en: Motorola, Intel, Philips.

Tamaño actual: Las motas de Crossbow tienen el tamaño de una boca de botella. Según el director, Mike Horton, esperan encoger su tamaño al de una tableta de aspirina —incluso al de un grano de arroz— en los próximos años.⁷⁰

Precio actual: Las motas de Crossbow (el juego completo de polvo inteligente sensor-procesador, radio, batería) fluctúan entre los 40 y los 150 dólares dependiendo de la cantidad. Crossbow espera que sus precios se abatan a menos de diez dólares en el futuro próximo.⁷¹

Usos actuales: El polvo inteligente se ha utilizado hasta ahora en:

- * **Buques tanque:** El buque petrolero de casi 300 metros, *Loch Rannoch*, operado por BP en el Atlántico Norte, está equipado con 160 motas sensoras inalámbricas que miden las vibraciones en el motor del barco con el fin de predecir fallas en el equipo. La compañía considera también el uso de redes de polvo inteligente en otros cuarenta proyectos en los próximos tres años.
- * **Hábitats naturales:** En la isla Great Duck, cerca de las costas de Maine, Estados Unidos, existe una red de 150 motas sensoras inalámbricas que monitorean los micro climas en los refugios donde anidan las aves marinas, y en los alrededores. El propósito es desarrollar un equipo de monitoreo de hábitats que permita que los investigadores supervisen especies en riesgo y sus hábitats, de manera no perturbadora ni invasiva.⁷²
- * **Puentes:** En San Francisco, Estados Unidos, se instaló una red de motas sensoras que miden la vibración y las cargas estructurales del puente Golden Gate, como forma de mantenimiento proactivo.⁷³
- * **Secoyas:** En el condado de Sonoma, en California, Estados Unidos, los investigadores ataron 120 motas a los árboles conocidos como secoyas o secuoias con el fin de monitorear, desde 70 kilómetros de distancia, el micro clima en las inmediaciones de Berkeley.⁷⁴
- * **Supermercados:** Honeywell está probando el uso de motas para vigilar tiendas de abarrotes en Minnesota (Estados Unidos).⁷⁵
- * **Puertos:** El departamento de Seguridad Patria estadounidense planea probar motas sensoras en los puertos de Florida y en los contenedores que transitan en sus aguas.⁷⁶

Redimensión de los sensores. La tecnología de sensores puede beneficiar a las empresas agrícolas, altamente industriales, de gran escala que ya adoptaron tractores con tecnología GPS y otras técnicas de agricultura de precisión. En última instancia, es probable que los sensores incrementen la productividad, abatan los precios agrícolas, reduzcan la mano de obra y obtengan pequeñas ventajas para los más grandes operadores agro industriales en el mercado mundial.

No serán los agricultores en pequeña escala quienes se beneficien de las redes de sensores, sino los gigantes comerciantes de granos como Cargill o ADM, que están en posición de reunir datos de varios miles de parcelas con el fin de determinar qué cultivos crecen, de quién son y qué precios hay que pagar, dependiendo de la demanda en el mercado y los precios globales. Los sensores marginarán los recursos más particulares de los agricultores —sus saberes locales más íntimos en relación a los

¿Podrán empacar polvo inteligente junto con semillas patentadas para verificar las prácticas de cultivo de los agricultores y el cumplimiento de las disposiciones de las patentes?

Al igual que la Revolución Industrial británica sacó a los hilanderos y tejedores manuales del negocio, la nanotecnología perturbará a un montón de compañías e industrias multimillonarias.

Lux Research, Inc. *The Nanotech Report 2004*

lugares, el clima, los suelos, las semillas, los cultivos y la cultura. En un mundo vigilado mediante dispositivos inalámbricos, todo esto se reduce a datos crudos en tiempo real, y se interpreta y valora a la distancia. ¿Para qué emplear a los campesinos cuando los sensores y las computadoras pueden crear “granjas inteligentes”, operadas sin ellos?

La producción con tecnología de punta que emprenden las empresas de gran escala comúnmente significa un abatimiento de precios y penurias para quienes están fuera del circuito agro industrial, incluidos los productores en pequeña escala, y los campesinos, sean indígenas o no. Conforme los sensores se encogen a tamaños menores que las semillas, se harán necesarias salvaguardas legales, de seguridad y ambientales para evitar los abusos del polvo inteligente, incluida la vigilancia de cultivos extranjeros. ¿Podrán empacar

polvo inteligente junto con semillas patentadas para verificar las prácticas de cultivo de los agricultores y el cumplimiento de las disposiciones de las patentes? ¿Podrán sujetarse sensores baratos a las semillas comerciales y otros insumos, para que las compañías reúnan información del mismo modo en que las compañías de la red electrónica reúnen datos confidenciales infectando las computadoras personales con programas y etiquetas de monitoreo invisible (conocidas por sus nombres en inglés de *cookies* y *spyware*)?

También puede hacerse presión para que se utilicen redes de sensores a modo de sistemas de vigilancia civil apelando al interés de la “seguridad patria”. Las redes de sensores inalámbricos —sea que se usen en la agricultura o en otras tantas aplicaciones— amenazan constreñir el disenso e invadir la privacidad. Michael Mehta, un sociólogo de la Universi-

Una resistencia contra la exclusión

A principios del siglo XIX la noción del cultivo sin la mano de obra campesina era una proposición impensable. Sin embargo, conforme los jornaleros rurales ingleses regresaban de las guerras napoleónicas, descubrieron que con la agricultura industrial había comenzado una nueva era sin ellos. En su ausencia, la mano de obra fue remplazada por trilladoras mecanizadas, lo que abatió los salarios rurales y dejó sin empleo a los trabajadores en los meses de invierno. Entre 1830 y 1832, durante los “motines de Swing” (por el nombre del mítico capitán Swing, pero en referencia al vaivén de hoces y guadañas, pues *swing* significa vaivén) la gente destruyó y quemó cientos de trilladoras por todo el sur de Escocia, en el primer acto de resistencia popular, breve sin embargo, en contra de la agricultura industrial. Desde entonces, las olas sucesivas de la tecnología, de los tractores a las cosechadoras combinadas, a los herbicidas y los cultivos genéticamente modificados, han acercado la agricultura a los ideales de la industria —donde la producción agrícola sea un espejo cada vez más fiel de los sistemas fabriles y donde los trabajadores agrícolas reciban pagas ínfimas, tornándose subempleados y finalmente desempleados.

Veinte años antes de los “motines de Swing”, los obreros textiles calificados lucharon contra condiciones cada vez más desesperadas en la misma forma —destrozando la maquinaria recién introducida. Los telares de vapor y los grandes bastidores de tejido hicieron que obreros menos calificados produjeran bienes de inferior calidad, y que se abatieran los salarios y los precios. Los tejedores, los escardadores, los cosechadores e hilanderos del algodón, esos tecnoclastas conocidos como *ludditas*, protestaban contra los bajos sueldos, el alto costo de la comida y la amenaza a su reputación de artesanos habilidosos.⁷⁷

dad de Saskatchewan en Canadá, considera que la multiplicación de sensores podría destruir la noción de la privacidad —creando un fenómeno que el llama “panóptica nanoscópica” (“nano-panopticism” en inglés) (verlo todo desde la invisibilidad de lo diminuto) donde los ciudadanos se sentirían bajo constante vigilancia.⁷⁸ En un informe reciente, la Royal Society, del Reino Unido, resaltó también algunas preocupaciones en torno a los sensores nanométricos: “Los dispositivos [sensores] podrían utilizarse para limitar la privacidad individual o grupal mediante una vigilancia encubierta, al coleccionar y distribuir información personal (perfiles genéticos o de salud, por ejemplo) sin el consentimiento adecuado, y por concentrar información en manos de quienes cuentan con recursos para desarrollar y controlar dichas redes”.⁷⁹

El comercio de lo infinitesimal: bienes de consumo nanométricos

Una ruleta de bienes de consumo: En su informe de 2004, relativo a la nanotecnología, Lux Research Inc. resalta el potencial que ésta tiene para ocasionar “dramáticos virajes en las cadenas de abasto y valor”.⁸⁰ En el sector agrícola, los bienes de consumo procedentes del campo y los niveles de vida de 1 300 millones de personas implicadas en labores de cultivo —la mitad de la población trabajadora del mundo— están en entredicho. Son particularmente vulnerables algunos bienes no manufacturados, básicos del Sur: fibras naturales como el algodón o el yute; bebidas tropicales como la cocoa, el café y el té; los aceites tropicales (de coco, palma, etcétera); y los productos cultivados que van de las especias exóticas a las nueces “de la India” o anacardo, o la misma vainilla. Según la UNCTAD, el valor de las exportaciones de materia prima agrícola en el mundo en desarrollo equivale a 26 700 millones de dólares.⁸¹ Los bienes y los mercados del Norte también se verán afectados conforme los materiales diseñados con nanotecnología desplacen los materiales convencionales. Sin embargo, por lo general serán las naciones más pobres y aquellas más

dependientes de las exportaciones agrícolas las que enfrentarán mayores perturbaciones procedentes de la adopción de los nuevos materiales nano estructurados.

No es la primera vez que las nuevas tecnologías amenazan con eliminar la producción de bienes primarios de exportación en los países del Sur. En los años ochenta, la biotecnología prometía transferir la producción de muchos bienes de consumo tropicales a instalaciones de bio fermentación en el Norte. ¿Para qué buscar vainilla de las fuentes originales (o caucho, cacao o café) en los países tropicales cuando cultivos celulares en el laboratorio pueden ser forzados a producir el mismo producto? Pero los materiales producidos por fermentación eran de calidad inconsistente, y los costos de producción no podían competir con los precios ínfimos que siempre se le ha pagado a los productores de bienes de consumo tropicales. ¿Podrá tener éxito la nanotecnología donde falló la biotecnología?

La siguiente sección profundiza en los impactos potenciales que pueden tener los nano productos ya disponibles en el mercado, o que están en desarrollo, sobre los mercados del caucho y el algodón.

Nano fibras vs algodón —cómo perfeccionar los pantalones perfectos. En un film de 1952, una comedia —*El hombre del traje blanco*—, un científico textilero y rebelde, interpretado por Alec Guinness, inventa una tela que nunca se ensucia ni se gasta. En vez de recibir con entusiasmo esta brillante innovación, sus colegas y sus patrones se dan cuenta de que esta nueva tela maravillosa es una amenaza a sus propios empleos y negocios y juntan una turba que le dé cacería. Hoy, conforme las nano fibras y las nano partículas son incorporadas a productos “milagrosos” (incluidas ropas), el simbólico “traje blanco” brilla con nueva relevancia.

Uno de los resultados paradigmáticos de la nanotecnología es una prenda de vestir: los pantalones. Haciendo eco de los trucos que solían hacer los vendedores de telas de puerta en puerta, parece que, en algún momento,

Los dispositivos [sensores] podrían utilizarse para limitar la privacidad individual o grupal mediante una vigilancia encubierta, al coleccionar y distribuir información personal (perfiles genéticos o de salud, por ejemplo) sin el consentimiento adecuado, y por concentrar información en manos de quienes cuentan con recursos para desarrollar y controlar dichas redes.

Royal Society, “Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties”

Las implicaciones de revertir el diseño de las previsiones de la Madre Naturaleza con nuestros dispositivos tecnológicos propios serán más profundas en las economías de la manufactura. Cuando químicamente y con muy bajo costo las compañías pueden ensamblar materiales y dispositivos de la misma forma en que se fabrica cerveza, queso y vino, se disparan perturbaciones y virajes dramáticos en las cadenas de abasto y valor.

Lux Research Inc.,
The Nanotech Report 2004

todo proselitista de las ventajas de la nanotecnología saca sus nano pantalones mágicos, les tira el café encima ante un público divertido (y si todo va bien el café se escurre cual si fuera mercurio sin manchar la prenda). A la cabeza de la industria de la moda fincada en la nanotecnología está Nano-Text, con sede en Estados Unidos, de la cual es propietaria, en 51 por ciento, Burlington Industries (BI). En sus años de gloria, BI era la compañía textil más grande del mundo, pero para 2001 rayaba en la bancarrota. Cuando en 2003 Wilbur Ross compró BI por 620 millones de dólares —derrotando al gigante del mercado Warren Buffet— su plan para revivir BI fue utilizar la tecnología creada por Nano-Text en las telas de BI y ofrecer licencias tecnológicas a otros productores.⁸² Hasta el momento, Nano-Text le ha otorgado licencias tecnológicas a cuarenta fábricas textiles y sus nano telas se incorporan a la industria del vestir impulsadas por las marcas más conocidas del mundo —incluidas Eddie Bauer, Lee, Gap, Old Navy y Katmandu.

Nano-Text ideó una forma de adherir filamentos diminutos a las fibras textiles utilizando “ganchitos nanométricos”. Estos filamentos impiden que los líquidos penetren la superficie de la tela y la vuelven resistente a las manchas. Una segunda tecnología desarrollada por Nano-Text —conocida en inglés con “Coolest Comfort”— intenta reunir las cualidades de las telas sintéticas y el algodón natural (la textura de este último con la fre-

cura, el secado rápido y la resistencia a las arrugas de las primeras). Una tercera tecnología —Nano-Touch— es una fibra sintética manipulada en el nivel nanoscópico que tiene la textura del algodón pero es mucho más fuerte. Según el fundador de Nano-Text, “este será nuestro producto arrasador”.⁸³

Tal vez sea un producto arrasador para Nano-Text pero no es necesariamente una buena noticia para los cien millones de familias involucradas en la producción algodoneira —la mayoría de las cuales lo cultivan en el Sur.⁸⁴ Como bien de consumo, al algodón no le ha ido bien en los últimos tiempos. Un siglo de bajas en los precios se debió en parte al costo menor de las fibras sintéticas, que se apoderaron del mercado. Estas fibras manufacturadas van del rayón —con base de celulosa—, comercializado en 1891, a las fibras derivadas del petróleo de Dupont, como lo es el nylon. Hoy, pese a cosechas récord, el algodón da cuenta del 40 por ciento del consumo total mundial de fibra, que es del orden de 52 millones de toneladas al año. Las otras fibras naturales no la hicieron mejor: la lana da cuenta del 2.5 por ciento, únicamente, y la seda tiene apenas un diminuto 0.2 por ciento. Se espera que el uso total de fibra alcance casi 60 millones de toneladas por año hacia 2010 pero la demanda de fibras artificiales crece al doble de la velocidad que la del algodón —aun sin contar los impactos potenciales de las nuevas telas derivadas de la nanotecnología.

El algodón: quiénes están en juego⁸⁵

- * El algodón se cultiva en más de 100 países.
- * 35 de 53 países africanos producen algodón; 22 son exportadores.
- * El valor de la producción mundial algodoneira se estima en 24 mil millones en 2002/2003.
- * Más de cien millones de familias están involucradas directamente en la producción algodoneira.
- * Más de mil millones de personas están involucradas en el sector del algodón a nivel mundial —incluida la mano de obra familiar y asalariada, para producirlo, transportarlo, despepearlo, empacarlo y almacenarlo.

Además de las telas diseñadas por Nano-Tex con nanotecnología, hay otras en desarrollo. Un grupo dirigido por Ray Baughman en la Universidad de Texas, en Dallas, desarrolló una tela a base de nano tubos de carbono que es 17 veces más resistente que el *kevlar* y que puede conducir carga eléctrica, por lo que puede activar equipo tal como teléfonos celulares.⁸⁶ Un grupo de Clemson University en Carolina del Sur, dirigido por el profesor Nader Jalili desarrolla telas con fibras nanométricas de carbono que pueden generar electricidad conforme el usuario se mueve.⁸⁷

Otra aplicación que desarrolla el Instituto Tecnológico de Massachussetts en conjunción con el instituto de nanotecnologías del combatiente (Institute for Soldier Nanotechnologies) utiliza nano fibras de vidrio ideadas por el profesor de ciencia material Yoel Fink, que exhiben diferentes colores dependiendo del grosor del tejido, lo que potencialmente afecta el mercado de teñido de telas. Fink y sus colegas avizoran que sus hebras nanométricas de vidrio, entretejidas en la ropa, podrán hacer que los usuarios cambien el color de su vestuario en un parpadeo —un gris sobrio para una junta de negocios o un fuschia brillante para la cita vespertina. Primero, tal vez en dos años, el ejército estadounidense las tejerá en los uniformes militares para ayudar a los combatientes a distinguir al enemigo de “los nuestros”.⁸⁸

Nano partículas vs el caucho. El caucho, como el algodón, es un bien agrícola que ex-

traen en forma natural los productores del Sur en países como Indonesia, Tailandia y Malasia. A diferencia del algodón, el hule natural es mucho más resistente al embate de sus contrapartes sintéticas, que fueron desarrolladas durante la Segunda Guerra Mundial. Aunque para 1964 el 75 por ciento del caucho mundial era sintético (asumiendo el término más genérico de hule), la introducción de las llantas radiales para uso automotriz ayudó a revivir el mercado para el hule natural o caucho. Se espera que en 2004 la producción total global de hule sea de 19.61 millones de toneladas, de las cuales 8.26 millones serán de hule natural, caucho, es decir un 42 por ciento.⁸⁹ En la actualidad, un 50 por ciento de las llantas de auto están hechas de caucho. Hace ya un tiempo que se mezclan en ellas partículas pequeñas de negro de carbón (incluidas nano partículas) para mejorar la fuerza y aminorar el desgaste de las llantas.

Muchos de los principales fabricantes de llantas desarrollan ahora ciertas partículas nanométricas para extender la vida de la llanta. Cabot, uno de los productores de hule para llantas, probó con eficacia las partículas nanométricas de carburo de sílice (les llaman PureNano) diseñadas por Nanoproducts Corporation, de Colorado. Añadidas a las llantas, las partículas PureNano redujeron la abrasión en casi un 50 por ciento —una mejora simple que si se adoptara ampliamente ayudaría a que las llantas duraran casi el doble, lo que reduciría la necesidad de hule para llan-

Son generalmente las naciones más pobres, las más dependientes de las exportaciones agrícolas, las que enfrentarán las mayores perturbaciones provocadas por la adopción de los nuevos materiales nano estructurados.

El caucho: qu est en juego

* En 2000, las exportaciones de caucho se valoraron en 3 600 millones de dólares. Los cinco productores más importantes del mundo son Tailandia, Indonesia, India, Malasia y China.

* Tailandia da cuenta de más de un tercio del caucho o hule natural del mundo.⁹⁰

* Noventa por ciento del caucho de Tailandia se produce en fincas de menos de 4 hectáreas. Se estima que 6 millones de agricultores producen hule natural en Tailandia.^{91,92}

La opción parece ser la sustitución del caucho de una vez por todas. Una posibilidad es un material nano estructurado extra ligero conocido como areogel, que se propuso en la fabricación de un material para la llanta sólida del vehículo espacial que pisó Marte (al final usaron llantas normales).

tas. Actualmente, se remodelan 16.5 millones de llantas tan sólo en Estados Unidos.⁹³ Se supone que esa cantidad podría reducirse a casi la mitad. Otras compañías buscan incorporar nano tubos de carbono, y alardean diciendo que las llantas podrían sobrepasar la vida del mismo automóvil. Según algunos rumores provenientes del Valle del Silicio (Silicon Valley en inglés y erróneamente nombrado en castellano como Valle del Silicón) en California, hay un fabricante de anti conceptivos que contempla la posibilidad de añadir nano tubos de carbono a los condones para fortalecerlos de la misma forma.⁹⁴

También se busca la nano estructuración interna de las llantas. Compañías como Inmat y Nanocor producen partículas nanométricas de arcilla que se pueden mezclar con plásticos y hule sintético para crear una superficie que contenga el aire. La arcilla nanoscópica de Inmat se usa ya como sellador en las pelotas de tenis de “doble núcleo” producidas por el fabricante de artículos deportivos Wilson. Se dice que estas pelotas (conocidas como Double Core) tienen dos veces el rebote de las comunes porque las nano partículas encierran el aire de manera mucho más efectiva. Inmat, que originalmente se fundó en cooperación con Michelin, el fabricante de llantas más importante del mundo, considera que puede usarse la misma tecnolo-

gía para sellar el interior de las llantas, lo que reduciría la cantidad de hule de butilo requerido para hacer llantas más ligeras, más baratas y que se calienten menos al rodar.⁹⁵

La opción parece ser la sustitución del caucho de una vez por todas. Una posibilidad es un material nano estructurado extra ligero conocido como *areogel*, que se propuso en la fabricación de un material para la llanta sólida del vehículo espacial que pisó Marte (al final usaron llantas normales). Como el nombre lo sugiere, los aerogels están compuestos de 98 por ciento de aire —miles de millones de burbujas nanométricas de aire en una matriz de sílice.⁹⁶

Además de ser ligeros, los aerogels son extremadamente resistentes al calor y son excepcionales aislantes. Los químicos de la Universidad de Missouri en Rolla (EUA) afirman que han desarrollado un nuevo aerogel totalmente impermeable que podría usarse en sustitución del hule para llantas.⁹⁷ Por lo menos una compañía llantera, Goodyear, mantiene la patente de una llanta que incorpora aerogels de sílice en su tramado.⁹⁸

El mercado llantera mundial está dominado por cinco firmas multinacionales: Michelin, Bridgestone, Goodyear, Continental y Sumitomo. En 2001, los cinco fabricantes más importantes daban cuenta de más de dos terceras partes de las ventas globales de llantas.⁹⁹

Alimentos: los materiales nano estructurados por la Naturaleza

En un artículo reciente de la revista *Nature Materials*, una investigadora del Cavendish Laboratory de la Universidad de Cambridge urgió a sus colegas en la investigación de materiales a que consideraran la agricultura como “una fuente de insumos alimenticios con una composición esencialmente incontrolable”, pero “con una rica y diversa categoría de materiales”, muchos de ellos “compuestos nano estructurados, donde el auto ensamblaje juega un papel crucial”.¹⁰⁰ Athene Donald apunta que la variabilidad de estos insumos, característica inevitable de todos los productos naturales debida a las diferencias regionales en suelo, clima y modos de cultivo, produce ingredientes “no confiables” que los nanotecnólogos podrán uniformar más, hacerlos más estables e incluso más nutritivos. Reconociendo que, al menos en Europa, “la ciencia perdió ante la emoción” en el debate de los organismos genéticamente modificados, la autora abriga grandes esperanzas de que la nanotecnología “mejore la materia prima” de modo que sea aceptable para el público.¹⁰¹

La creación de nuevos bienes de consumo nano estructurados. Conforme la producción en masa de materiales nanométricos crece hasta alcanzar muchas toneladas, emergen nuevos métodos de producción que pueden abrir nuevos mercados para algunos insumos de origen agrícola —cuando menos en pequeñas cantidades.

El hilado de una madeja nanométrica. Los científicos de la Universidad de Cambridge en Inglaterra exploran métodos para fabricar nano tubos de carbono a partir del etanol derivado del maíz.¹⁰² Mientras que casi todos los procesos de fabricación de nano tubos usan petróleo o grafito como materias primas, el doctor Alan Windle y su equipo inyectan etanol en un rápido chorro de gas hidrógeno que es llevado a un horno a temperaturas de 1000°C. La alta temperatura rompe el etanol y los átomos de carbono se reensamblan como nano tubos, cada uno de una micra de longitud, que flotan en el flujo del hidrógeno, vinculándose unos con otros libremente como una especie de “humo elástico”.

Los nano tubos son extraídos entonces de esta nube amorfa, un poco como en una rueca se hilan las fibras de la lana. Este método permite hilos continuos de nano tubos de carbono de hasta 100 metros de largo, aunque en la actualidad eso los hace de muy baja calidad.

No sólo de etanol de maíz se configuran fibras nanométricas de utilidad. En Cornell University, otro equipo refina un proceso más antiguo conocido como “electro hilado” (“electrospinning”).¹⁰³ Con este método, la celulosa de la planta se desintegra mediante un solvente para después vertirse con corriente eléctrica por un agujero minúsculo que produce una fibra menor a los 100 nm de diámetro. Los científicos experimentan ahora con alterar las propiedades de esas fibras nanométricas para mejorar su resistencia.

Según Margaret Frey, profesora adjunta de textiles en Cornell University, “la celulosa es el polímero más abundante en la tierra y es un recurso renovable. Forma la estructura de todas las plantas. Aunque los investigadores predicen que a partir de éstas podrían hacer-

se fibras que se aproximan en fortaleza al *kevlar*, nadie lo ha logrado”.¹⁰⁴

Los investigadores de Cornell se están enfocando a recobrar la celulosa del desperdicio de la producción algodonera, pero, en teoría, podrían cosechar celulosa de cualquier desperdicio vegetal.¹⁰⁵ Eso puede ser una buena noticia para las compañías textiles que podrían comprar material vegetal de desperdicio a muy bajo precio, pero puede no ser una bendición económica para los agricultores, pues la celulosa es tan abundante.

Cultivo de partículas. En el futuro, las partículas nanométricas industriales pueden no ser producidas en un laboratorio sino en campos de cultivos genéticamente modificados —algo que podría llamarse “cultivo de partículas”. Se sabe desde hace tiempo que las plantas pueden usar sus raíces para extraer nutrientes y minerales del suelo, pero algunas investigaciones de la Universidad de Texas en El Paso confirman que las plantas pueden chupar nano partículas que podrían cosecharse a nivel industrial. En un experimento en cultivo de partículas, se sembraron plantas de alfalfa en un suelo artificialmente enriquecido con oro, en predios universitarios. Cuando los investigadores examinaron las plantas, encontraron nano partículas de oro en las raíces y a todo lo

La celulosa es el polímero más abundante en la tierra y es un recurso renovable. Forma la estructura de todas las plantas. Aunque los investigadores predicen que a partir de estas podrían hacerse fibras que se aproximan en fortaleza al kevlar, nadie lo ha logrado.

MARGARET FREY,
profesora adjunta de textiles
en Cornell University

Las ferias comerciales no son tan divertidas desde que nos cayó la nanotecnología



En el futuro, las partículas nanométricas industriales pueden no ser producidas en un laboratorio sino en los campos de cultivos genéticamente modificados —algo que podría llamarse “cultivo de partículas”.

Las patentes y la innovación nanotecnológica que emprende el Norte (especialmente Estados Unidos) impulsarán el reemplazo de bienes de consumo tropicales, tales como el caucho y el algodón de alta calidad, con materias primas más baratas que pueden conseguirse y manipularse más cerca de casa (residuos de maíz, avena y algodón).

largo del retoño de aquellas plantas —con propiedades físicas semejantes a las producidas mediante técnicas químicas convencionales, caras y dañinas al ambiente.¹⁰⁶ Los metales se extraen simplemente al disolver el material orgánico.

Los experimentos iniciales mostraron que las partículas de oro se acuerparon en formas azarosas, pero al cambiar la acidez del medio de cultivo, resultaron formas más uniformes.¹⁰⁷ Los investigadores están ahora trabajando con otros materiales, y con trigo y avena además de la alfalfa, para producir partículas nanométricas de plata, europio, paladio, platino y hierro.¹⁰⁸ Para una producción en escala industrial, los investigadores especulan que las partículas en plantas pueden cultivarse intramuros en suelos enriquecidos con oro, o pueden cultivarse en las inmediaciones de minas de oro abandonadas.¹⁰⁹

Entre tanto, los nanotecnólogos del laboratorio nacional de química de India en Pune, emprenden un trabajo semejante con hojas de geranio inmersas en soluciones ricas en oro.¹¹⁰ Después de tres o cuatro horas, las hojas producen partículas de 10 nanómetros de tamaño en forma de barras, esferas y pirámides que, de acuerdo con el investigador Murali Sastry, parecen formarse según los compuestos aromáticos de las hojas. Alterando estos compuestos aromáticos, Sastry cree que es posible alterar la forma de las nano partículas (junto con sus propiedades).

Redimensión de los impactos de la ruleta de bienes de consumo. Es muy pronto para mapear con confianza la forma en que esta nueva economía basada en partículas nanométricas diseñadas alterará los bienes agrícolas tradicionales —pero es evidente que lo hará. Las patentes y la innovación nanotecnológica que emprende el Norte (especialmente Estados Unidos) impulsarán el reemplazo de bienes de consumo tropicales, tales como el caucho y el algodón de alta calidad, con materias primas más baratas que pueden conseguirse y manipularse más cerca de casa (residuos de maíz, avena y algodón). No es nuestro argumento que deba preservarse el sistema impe-

rante, o que los campesinos y los trabajadores agrícolas deben ser dependientes por siempre de unos cultivos de exportación notoriamente volubles. El punto es que esa tecnología de los diminuto traerá perturbaciones socio económicas titánicas para las que la sociedad está mal preparada. Como siempre, los pobres son los más vulnerables.

Los nuevos materiales nano estructurados podrían traernos beneficios ambientales. Por ejemplo, reducir el número de llantas usadas aliviaría la carga en los tiraderos y rellenos de tierra. Los escépticos señalarán, sin embargo, que los materiales nano estructurados que se diseñan para reemplazar el hule natural podrían acarrear nuevos problemas de eliminación y nuevos contaminantes del ambiente.

En el corto plazo, los agricultores industriales bien posicionados, capaces de allegarse grandes cantidades de celulosa, pueden hallar un nicho de mercado y comenzar a recibir ingresos adicionales por lo que antes se consideraba basura. Y tal vez en algún punto los mercados para el etanol tengan un auge, pero incluso los agricultores de América del Norte se equivocarían si pensaran que van a entrar en el corazón de la economía basada en nano materiales. Si el hilar fibras nanométricas a partir de celulosa o de etanol realmente toma aliento, los verdaderos ganones serán los grandes procesadores de granos que podrán ofrecer estos bienes más baratos.

La extracción de nano partículas a partir de tierras ricas en minerales mediante el cultivo de plantas especialmente criadas o diseñadas, puede ser algo significativo en regiones más pobres, especialmente en aquellas que cuentan con economías mineras. Si se hace factible extraer minerales usando vegetales procesadores de partículas, esto podría ofrecer alternativas a ocupaciones azarosas, y a las naciones en desarrollo les proporcionaría nuevas oportunidades de recibir ingresos. Pero el cultivo de partículas no está muy al alcance de los campesinos o los productores de pequeña escala. Recapturar y caracterizar nano partículas requiere instalaciones de alta tecnología para su procesado, que no están disponibles para ellos. Es también una aproximación que

afectaría significativamente las tendencias en el uso de la tierra: haría de tierras antes marginales, objeto de ambición para cultivar partículas de minerales raros —un proceso que podría desplazar a las culturas tradicionales y afectar ecologías sensibles. La liberación de plantas genéticamente modificadas para mejorar la producción de nano partículas podría intensificar las inquietudes actuales en torno a la seguridad biológica; es también preocupante la perspectiva de que cultivos que contengan nano partículas bio activas se mezclen con las existencias de alimentos.

Otros materiales nano estructurados que invaden de forma invisible el campo. Algunos proyectos por todo el mundo exploran el uso de partículas nanoscópicas en el agro con fines diferentes al desarrollo de plaguicidas —una fotosíntesis intensificada o un mejor manejo del suelo y la germinación.

¿Un fertilizante a base de fullerenos?: Los investigadores de la Universidad de Kyoto en Japón han descubierto un método de producir amoníaco utilizando fullerenos, también llamados *buckyballs* (que en síntesis son esferas nanométricas perfectas, conformadas por sesenta átomos de carbono dispuestos como los pentágonos y hexágonos de una pelota de soccer y reciben su nombre en honor de R. Buckminster Fuller, inventor que insistió en que la estructura arquitectónica perfecta era el domo geodésico). El amoníaco es un componente clave de los fertilizantes pero no es claro si el producto usado en los campos contendría esas *buckyballs*.¹¹¹

Nano mezcla de TiO₂: Los científicos de la Universidad de Corea han solicitado la patente de un líquido que es una mezcla compuesta de nano partículas de dióxido de titanio, y que afirman destruirá las plagas nocivas, intensificará la fotosíntesis y estimulará el crecimiento al aplicarlo a las plantas de arroz.¹¹²

Hierro para la siembra: La Academia Rusa de Ciencias informa que consiguieron mejorar la germinación de semillas de tomate ro-

ciando una solución de nano partículas de hierro en los campos.¹¹³

Adherente de suelos: En 2003, el Grupo ETC informó de un adherente de suelos con tecnología nanométrica llamado SoilSet, desarrollado por Sequoia Pacific Research, de Utah (EUA).¹¹⁴ SoilSet es una composta de fraguado rápido que depende de las reacciones químicas a nivel nanométrico para empastar el suelo. Se ha utilizado rociándolo en 1 400 acres del monte Encebado en Nuevo México para evitar la erosión que deriva de los incendios forestales y en áreas más pequeñas, afectadas por quemaduras forestales, en el condado Mendocino, en California.

Limpieza de suelos: Existen varias aproximaciones que recurren a métodos nanotecnológicos, en particular a nano partículas, para limpiar suelos contaminados con metales pesados y PCBs. El doctor Wei-xang Zhang es pionero de un método nanoscópico de limpieza, que consiste en inyectar hierro nano escalar en un sitio contaminado. Las partículas fluyen con el agua del suelo y descontaminan *en route*, lo que es menos caro que remover el suelo para tratarlo.¹¹⁵ Las pruebas del doctor Zhang con este hierro nano escalar muestran niveles de contaminación mucho menores en el transcurso de uno o dos días. Las pruebas muestran también que el hierro nano escalar permanecerá activo en el suelo por seis u ocho semanas después de las cuales se disuelve en el agua del suelo y se torna indistinguible del hierro común.

Nano farmacopea para animales

El ganado, los animales de granja y los peces también pueden verse afectados por la revolución nanotecnológica. Aunque las grandes esperanzas en una medicina anclada en soluciones nanoscópicas están sobre todo en la detección de enfermedades y en nuevos fármacos para humanos, existen aplicaciones veterinarias que pueden ser un terreno de prueba para técnicas más controvertidas —incluidas las vacunas nano encapsuladas y la selección sexual en la crianza.

Los nuevos materiales nano estructurados podrían traernos beneficios ambientales; sin embargo, los materiales nano estructurados que se diseñan para reemplazar el hule natural podrían acarrear nuevos problemas de eliminación y nuevos contaminantes del ambiente.

La Academia Rusa de Ciencias informa que consiguieron mejorar la germinación de semillas de tomate rociando una solución de nano partículas de hierro en los campos.

Hay investigadores entusiastas que dicen que la miniaturización y la integración de la química y la biología provocarán una revolución. Lo que la electrónica significó para la computación, pueden ser los micro fluidos para la biología.

KYLE JAMES, *Small Times*¹¹⁹

Bio chips. Utilizando bio chips se puede analizar y manipular simultáneamente muestras biológicas de sangre, tejidos y semen. En menos de cinco años, los bio chips son una herramienta estándar de la genómica y del descubrimiento de nuevos medicamentos, y hoy se encuentran en aplicaciones comerciales relativas al cuidado de la salud y la seguridad en los alimentos.

Si un micro chip (comúnmente de silicio) es una serie de componentes electrónicos en circuito que operan y activan mecanismos mayores, un bio chip es un dispositivo conformado por miles de sargas cortas de ADN depositadas con precisión en un circuito de silicio. En las series de ADN, cada filamento actúa sondeando selectivamente y cuando se funde con el material de una muestra (digamos de sangre), se registra una señal eléctrica. En forma bastante parecida al proceso de buscar una palabra en un texto, el bio chip es capaz de reportar si encontró secuencias genéticas de acuerdo a los sondeos de ADN que se le hayan instalado. Los bio chips más conocidos son aquellos producidos por Affymetrix, la compañía que inició dicha tecnología y que fue la primera en producir chips de ADN que analizaran el genoma humano completo en un solo chip, del tamaño de una moneda pequeña.¹¹⁶

Además de los bio chips de ADN, hay otras variantes que detectan cantidades diminutas de proteínas y químicos en una muestra, lo que las hace útiles para detectar agentes biológicos bélicos o alguna enfermedad. Los aparatos para analizar bio chips son del tamaño de una impresora de inyección de tinta y están disponibles comercialmente, de compañías como Agilent (Hewlett-Packard) y Motorola —y son capaces de procesar hasta 50 muestras en una media hora.

Pueden utilizarse chips en la detección temprana de enfermedades en animales. Los investigadores de la Universidad de Pretoria, en Sudáfrica, por ejemplo, desarrollan bio chips que detectarán las afecciones comunes que transmiten las garrapatas.¹¹⁷ Los bio chips se pueden usar también para rastrear la fuente de un alimento o un pienso. Por ejemplo, el

chip de identificación conocido como FoodExpert-ID, de bioMérieux, prueba con rapidez los piensos para detectar la presencia de productos animales de cuarenta diferentes especies, como medio para localizar la fuente de patógenos, en respuesta a las amenazas a la salud pública que entrañan la gripe aviar y la fiebre de “las vacas locas”.¹¹⁸

Uno de los propósitos es funcionalizar los bio chips con fines de crianza. Por traer tras de sí el mapeo del genoma humano, hoy los genetistas pueden secuenciar con facilidad los genomas del ganado vacuno, ovejas, aves de corral, cerdos y otros animales de granja con la esperanza de identificar secuencias genéticas relacionadas con rasgos de valor comercial como la resistencia a enfermedades o lo magro de su carne. Mediante la inclusión de sondeos de estos rasgos en el diseño de los bio chips, los criadores pueden identificar los sementales campeones y detectar enfermedades genéticas.

Micro y nano fluidos. La micro fluídica es una nueva plataforma tecnológica que opera en la misma escala de los bio chips. Los sistemas de micro y nano fluidos analizan controlando el flujo de líquidos o gases mediante una serie de diminutos canales y válvulas, y los separan de la misma manera en que los circuitos de una computadora reordenan datos a través de cables y compuertas lógicas. Los canales micro fluídicos, con frecuencia grabados en silicio, pueden medir menos de 100 nm de ancho. Esto permite manejar materiales biológicos como ADN, proteínas o células en cantidades diminutas — comúnmente nanolitros o picolitros (mil veces menor que un nanolitro).

La micro fluídica no sólo permite un análisis muy preciso, sino que potencia la manipulación de materia viva al poder mezclar, separar y manejar, en la nano escala, diferentes componentes.

La micro fluídica se usa ahora en la cría de ganado pues permite separar, físicamente, el esperma y los óvulos. El líder en este campo es XY, Inc., de Colorado (EUA), que usa una técnica de micro fluidos conocida como *cito* -

metría de flujos, para segregar espermatozoides con componentes masculinos o femeninos con el fin de realizar una selección de sexo. XY ha logrado criar caballos, ovejas, puercos y ganado vacuno con selección sexual y ahora pone su tecnología a disposición de los criadores comerciales. La empresa de innovación nanotecnológica Arryx, que desarrolló un nuevo sistema de micro fluidos conocido como MatRyx, utiliza una técnica nanométrica en la que diminutos rayos láser de arrastre atrapan esperma individual y lo separan por peso. MatRyx puede separar 3 mil espermatozoides por segundo, y se enfoca a comercializarse para la cría de ganado. “De esta manera, quienes se dedican a los lácteos tendrán vacas y los productores de carne toros con más carne”, explica el director de Arryx, Lewis Gruber.¹²⁰ Su objetivo es producir un separador de sexos con sólo apretar un botón.

Matthew Wheeler, profesor de ciencia animal en la Universidad de Illinois, fue un paso más allá al desarrollar un dispositivo de micro fluidos que no sólo separa espermatozoides y óvulos sino que los junta imitando el movimiento de la reproducción natural para después manejar el embrión resultante. Según el doctor Wheeler, dicha técnica haría posible que la producción masiva de embriones fuera barata, rápida y confiable.¹²¹ Junto con sus colegas ha lanzado una compañía, Vitaelle, para comercializar esta tecnología.

Medicina veterinaria nano estructurada. El campo de la nano medicina ofrece avances en el diagnóstico y en la curación, así como el mejoramiento del desempeño humano. La Fundación Nacional de la Ciencia estadounidense espera que hacia 2010 la nanotecnología dé cuenta de casi la mitad de todas las ventas de la industria farmacéutica. Lo que se proclama menos es que ese impacto también llegará al mercado de la salud animal —sea porque la nanotecnología muestra sus ventajas en la medicina humana o porque las aplicaciones veterinarias son el campo de prueba para aproximaciones más controvertidas, como el uso de cápsulas nanométricas con ADN.

Compañías como SkyePharma, IDEXX y Probiomed están desarrollando aplicaciones veterinarias de las nano partículas. Una evaluación plena de cómo y qué tanto usan nanotecnología las compañías farmacéuticas en el desarrollo y suministro de medicamentos se halla fuera del espectro de este informe. Abajo resumimos algunos de los avances clave que son relevantes en la farmacopea animal.

Descubrimiento de medicinas. La capacidad para dar imagen a las moléculas biológicas y para aislarlas en la nano escala, abre la puerta para un diseño más preciso de medicamentos, para un rastreo genómico más veloz y para evaluar la funcionalidad médica de compuestos varios. La industria farmacéutica está particularmente interesada en el uso de bio chips y dispositivos micro fluidicos (*ver arriba*) que rastreen los tejidos en busca de diferencias genéticas que permitan diseñar medicamentos apropiados genéticamente (que es el campo de la fármaco genómica).¹²²

Detección de enfermedades. Las nano partículas pueden moverse muy fácilmente por todo el cuerpo, y como tal, se pueden utilizar en el diagnóstico. Son de particular interés los llamados *puntos cuánticos* —cristales nanométricos de selenuro de cadmio que brillan en diferentes colores según su tamaño. Los puntos cuánticos pueden funcionar para etiquetar con colores específicos diferentes componentes biológicos como las proteínas o los filamentos de ADN. Así, en una muestra de sangre se puede rastrear ciertas proteínas que pueden indicar una propensión particular a alguna enfermedad. Se puede obtener un efecto semejante con grageas nanométricas de oro, cuentas diminutas de vidrio cubiertas con una capa de oro que cambia de color dependiendo del grosor del metal. Tanto las grageas nanométricas como los puntos cuánticos pueden diseñarse para que se adhieran a los tumores o a las células malignas cuando se les introduce en el cuerpo, lo que permite identificarlas con mayor precisión. Los científicos de Rice University que descubrieron esta técnica han mostrado también, en ani-

En la era de las nuevas tecnologías relativas a la salud, la medicina veterinaria entrará en una fase de nuevas e increíbles transformaciones. El principal aporte a estos cambios es nuestra capacidad reciente para medir, manipular y organizar la materia a nivel nanoscópico.

DOCTOR JOSÉ FENEQUE,
Miami, Florida

Los compuestos farmacéuticos reformulados en nano partículas no sólo llegan a partes del cuerpo a las que no llegan las formulaciones actuales. Por su gran área superficial pueden hacerse biológicamente activas. Un aumento en la disponibilidad biológica significa que se requieren concentraciones menores de compuestos médicos caros, y potencialmente tienen menos efectos colaterales.

males, que las grageas nanométricas pueden calentarse con rayo láser de tal modo que destruyan selectivamente el tejido enfermo al que se adhieren, sin dañar la piel o el tejido sano circundante. Se ha otorgado licencia comercial de esta tecnología a Nanospectra, una empresa de innovación.¹²³

Nuevos mecanismos de suministro. Las mismas medicinas empiezan a encogerse. Las estructuras nanoscópicas tienen la ventaja de ser capaces de escurrirse por entre el sistema inmunológico y atravesar las barreras que el cuerpo utiliza para mantener fuera aquellas sustancias no apropiadas (por ejemplo la barrera sanguínea del cerebro o la pared estomacal).

Los compuestos farmacéuticos reformulados en nano partículas no sólo llegan a partes del cuerpo a las que no llegan las formulaciones actuales. Por su gran *área superficial* pueden hacerse biológicamente activas. Un aumento en la disponibilidad biológica significa que se requieren concentraciones menores de compuestos médicos caros, y potencialmente tienen menos efectos colaterales.¹²⁴ Las partículas nanométricas también pueden usarse para introducir compuestos por el cuerpo. Las principales compañías farmacéuticas con ideas nanotecnológicas, tales como SkyePharma y Powderject (hoy subsidiaria controlada por Chiron), han desarrollado métodos de administrar fármacos diseñados con nano partículas a través de la piel, o vía inhalación. Algunos investigadores en Florida trabajan en nano sistemas de suministro que difunden el medicamento a través del ojo, mediante lentes de contacto impregnados de manera particular. Al igual que ocurre con la administración de plaguicidas, hay gran interés por la “liberación controlada”. Muchas de las grandes compañías farmacéuticas para humanos y animales trabajan en drogas nano diseñadas que utilizan tecnologías de encapsulado nanométrico para introducir compuestos activos al cuerpo. Las cápsulas pueden funcionar adhiriéndose a lugares específicos del cuerpo, o pueden activarlas disparadores externos, como un pulso magnético o un ul-

trasonido. El USDA compara estas cápsulas nanométricas medicinales, conocidas como “sistemas de suministro inteligentes” con el sistema postal, pues cuenta con “etiquetas de dirección” con código molecular que aseguran que el medicamento empacado llega al destino especificado.¹²⁵

Además de las cápsulas se usan otros materiales nano estructurados para suministrar drogas:

Bio silicio: Un material altamente poroso, a base de materiales nanométricos de silicio que puede suministrar un medicamento con mayor lentitud y durante un periodo más prolongado. Fue desarrollado por la compañía australiana pSivida, y utiliza su tecnología conocida como BioSilicon para elaborar cápsulas minúsculas (que hay que tragar) y diminutas agujas que pueden disponerse en forma de un parche que invisiblemente perfora la piel y suministra la medicina.¹²⁶

Fullerenos: conocidos como “las moléculas milagrosas” de la nanotecnología (como se dijo más arriba los nano tubos de carbono y las *buckyballs* se incluyen en esta clase de moléculas), son cascarones huecos formados por sesenta átomos de carbono de menos de un par de nanómetros de ancho. Debido a que son huecos, las compañías farmacéuticas investigan la posibilidad de llenar fullerenos con compuestos médicos para luego hacerlos funcionar adheridos a diferentes partes del cuerpo.

Dendrímeros: son moléculas ramificadoras que tienen una estructura arbórea, y se están convirtiendo en una de las herramientas más populares de la nanotecnología. Debido a su forma y a su tamaño nanoscópico, los dendrímeros tienen tres ventajas en la administración de medicamentos: primero, pueden captar en su estructura las moléculas de un fármaco sirviendo así como vehículo; segundo, pueden entrar en las células con facilidad liberando la droga en su destino; tercero, lo más importante: los dendrímeros no activan los sistemas inmunológicos. Pueden también

usarse en los análisis y diagnósticos químicos —lo que abre la posibilidad de crear moléculas sintéticas que localicen, diagnostiquen y traten tumores u otras células enfermas.

Nano cápsulas de ADN: Éstas introducen sarras de ADN viral a las células. Una vez que la cápsula se descompone, el ADN secuestra el mecanismo celular que produce compuestos que se activarían ante un ataque viral, lo que alerta y entrena al sistema inmunológico a reconocerlos. La tecnología de nano cápsulas de ADN podría usarse para obligar a las células vivas a producir nuevas proteínas o toxinas. Por sus efectos aplicables a una guerra biológica, debe monitorearse con cuidado este método.

Redimensión de los fármacos nano estructurados. La nanotecnología puede ofrecer a la industria farmacéutica la clave para desatar un torrente de nuevos y antiguos compuestos médicos. No sólo obtendrán mayores ganancias y patentes del encogimiento de las medicinas existentes a su versión nanoscópica. Existe la posibilidad de resucitar medicamentos que no pasaron las pruebas clínicas en su forma original. Al encapsular componentes activos de la farmacopea y afirmar que se dirigen a sitios muy específicos del cuerpo, las compañías pueden alegar que los efectos colaterales generales ya no son una preocupación y que las evaluaciones de seguridad existentes ya no son relevantes.

Estos fármacos nano escalares, aprobados para uso en animales, deben someterse a prueba y luego supervisarse con el fin de evitar que entren a la cadena alimenticia. Todavía no es clara la forma en que las nano partículas persisten y se mueven por el cuerpo, y tampoco es claro si puedan migrar a la leche, los huevos o la carne. Es necesario que las autoridades regulatorias reevalúen las actuales drogas farmacéuticas para animales si se reformulan en la nano escala.

Pequeñas partículas para pollos. *Campylobacter jejuni* es un grupo de bacterias con forma espiral que ocasionan calambres abdo-

minales y diarrea sanguinolenta en humanos; se contrae a partir de productos avícolas contaminados. En un momento en que los agentes patógenos tienen niveles de resistencia alarmantes a los antibióticos habituales, la industria avícola voltea la mirada hacia la nanotecnología buscando nuevos medios de combatir patógenos bacterianos como *Campylobacter*. En Clemson University, Carolina del Sur (EUA), investigadores patrocinados por el USDA han estado experimentando con nano partículas de poliestireno especialmente diseñadas para combatir la contaminación en las granjas. Estas nano partículas son ingeridas por los pollos y dentro de las tripas se adhieren al *Campylobacter*. Los investigadores confían en que las partículas descargarán las bacterias del intestino para ser excretadas en las heces fecales, reduciendo la contaminación de las aves que se enviarán a su procesamiento.¹²⁷ Según el doctor Robert Latour, investigador de Clemson, la seguridad y la eficacia del método está a prueba en un número reducido de animales.¹²⁸

Rebaños inteligentes. El rastreo de ganado es un problema para los criadores desde que Margarita perdió su ovejita. Pero Nano Margarita no tendría esos problemas. Al igual que comienzan a usarse tecnologías convergentes en la producción agrícola (y sus redes de sensores nanoscópicos que monitorean la salud de las plantas), se hace factible utilizar estas mismas herramientas en el monitoreo de los rebaños. La USDA avizora el surgimiento de “rebaños inteligentes” —vacas, borregos y cerdos con sensores y localizadores adheridos que envían datos acerca de su salud y su posición geográfica a una computadora central.

Esta es una visión propia de la agricultura de precisión aplicada a la ganadería. El propósito de largo plazo no es únicamente monitorear e intervenir de forma autónoma con fármacos aplicados en dosis minúsculas mediante dispositivos de suministro que puedan ser implantados en los animales anticipándose a la enfermedad. La noción de vincular sensores implantados con sistemas de suministro inteligente deviene del “principio de la inyec-

No sólo obtendrán mayores ganancias y patentes del encogimiento de las medicinas existentes a su versión nanoscópica. Existe la posibilidad de resucitar medicamentos que no pasaron las pruebas clínicas en su forma original.

El USDA avizora el surgimiento de “rebaños inteligentes” —vacas, borregos y cerdos con sensores y localizadores adheridos que envían datos acerca de su salud y su posición geográfica a una computadora central.

Nano cápsulas que contienen sartas cortas de ADN se añaden al estanque de peces donde son absorbidas por las células de los peces. Se utiliza entonces ultrasonido para romper las cápsulas, liberando el ADN y provocando una respuesta de inmunidad por parte de los peces.

ción de combustible”, pues imita la forma en que los carros modernos suministran combustible a sus motores. Las aplicaciones más próximas a ser comercializadas incluyen dispositivos de suministro de insulina (implantes conocidos como “chips de medicina”) vinculados a sensores de glucosa, que se usarán en el tratamiento de la diabetes humana regulando automáticamente los niveles de azúcar en la sangre. Con el tiempo, éste será el modelo de toda la administración de drogas, en humanos y animales por igual.

Uno de los obstáculos actuales es que sus materiales compuestos (metal o plásticos) son con frecuencia incompatibles con el tejido vivo. Los nuevos materiales, diseñados a nivel nanométrico para ser bio compatibles, buscan resolver este problema.

Redimensión de la nano farmacopea para animales. Implantar dispositivos rastreadores en animales no es algo nuevo. Ya se usan micro chips inyectables en mascotas, animales de rancho y granja valiosos, y en la conservación de la vida silvestre, y asumen gran variedad de formas, todas con el fin de mejorar el bienestar y la seguridad de los animales. Se usan también en el estudio de la conducta animal en sus ambientes naturales, para rastrear componentes cárnicos hasta sus fuentes originales o para reunir animales perdidos con sus guardianes humanos. No obstante, en la era nanotecnológica, adosar a los animales de granja con sensores, chips de medicamento o nano cápsulas, expandirá la visión de los animales como unidades de producción industrial. Son ellos los más utilizados en los menos afortunados o más riesgosos experimentos que después podrán generar aplicaciones para los seres humanos. Usar técnicas de micro fluidos para la crianza, probablemente acelerará la uniformidad genética de las especies ganaderas y abrirá la posibilidad futura de aplicar nuevas tecnologías de eugenesia nanoscópica en humanos. La capacidad de regular a distancia a los animales puede tener efectos adversos en rebaños que pasen periodos más prolongados sin el cuidado directo de los humanos.

Las mismas herramientas transferidas a los humanos tienen serias implicaciones en la calidad de la vida y las libertades civiles. En octubre de 2004, la US Food and Drug Administration (la administración de alimentos y fármacos estadounidense) aprobó el uso de micro chips implantados en humanos con el fin de proporcionar fácil acceso a los registros médicos de los individuos —un primer paso para aprobar el uso de micro chips en la medicina en Estados Unidos.¹²⁹

Conforme la atención a la salud toca fondo, en el futuro, y por razones económicas, se preferirá que exista un sistema de suministro de medicamentos automatizado vía chips, y no el cuidado de las enfermeras. Cuando se atiende a los ancianos o a aquellos que tienen distintas habilidades cognitivas, o cuya condición requiere tratamiento regular, pueden surgir cuestiones éticas acerca de quién decide someter a un individuo a una “inyección de combustible”.

La administración automatizada de medicamentos podría permitir a alguna gente vivir con independencia, en vez de quedar institucionalizado. Sin embargo, la ausencia de gente que los atiende es también un factor.

Nano acuicultura. El área de producción animal que más rápido crece en el mundo es el cultivo de peces, crustáceos y moluscos, en particular en Asia. Según la Organización de Agricultura y Alimentación (conocida mundialmente por sus siglas en inglés, FAO) hubo 45.7 millones de toneladas de producción relativa a la acuicultura en 2000, y crece a una tasa de más del 9 por ciento anual.¹³⁰ Su historia es fuerte en cuanto a adoptar nuevas tecnologías, y por tanto es probable que la industria del cultivo pesquero integrado sea de las primeras en incorporar y comercializar productos nanotecnológicos. Entre las aplicaciones que emergen están:

Limpieza de estanques de peces: Altair nanotechnologies, con sede en Nevada, fabrica un producto limpiador del agua para piscinas y estanques de peces conocido como Nano-Check. Utiliza partículas de 40 nm de un

compuesto de base de lanthano que absorbe los fosfatos del agua y evita el crecimiento de algas. NanoCheck está actualmente en proceso de prueba a gran escala en piscinas, y se espera que Altair lance un nuevo limpiador de albercas a principios de 2005.¹³¹ Altair considera que pronto habrá una enorme demanda de su producto, NanoCheck, para ser usado en miles de granjas piscícolas comerciales de todo el mundo donde sea muy costosa la prevención y la erradicación de las algas. Según Altair, la compañía planea expandir sus pruebas para confirmar que sus nano partículas no dañan a los peces, pero no hace mención alguna de qué pruebas se emprenderán para examinar qué impactos tendrán, en la salud humana o en el ambiente, los derrames de nano partículas.¹³²

Vacunas nanométricas de ADN: El USDA está por terminar los ensayos de un sistema de vacunación masiva en peces, usando ultrasonido.¹³³ Nano cápsulas que contienen sartas cortas de ADN se añaden al estanque de peces donde son absorbidas por las células de los peces. Se utiliza entonces ultrasonido para romper las cápsulas, liberando el ADN y provocando una respuesta de inmunidad por parte de los peces. Hasta el momento Clear Springs Foods, de Idaho (EUA) —una importante compañía de acuicultura que produce la tercera parte de la trucha en Estados Unidos— ha probado esta tecnología con truchas arco iris.

Peces de crecimiento rápido: Los científicos de la Academia Rusa de Ciencias han informado que cuando se les alimenta con nano partículas de hierro, las carpas y los esturiones jóvenes muestran una tasa de crecimiento más acelerada (30 y 24 por ciento respectivamente).¹³⁴

El futuro de los cultivos:

Nano biotecnología y *biología sintética*

En la alborada del siglo XXI, de pronto la ingeniería genética es un sombrero viejo. La primera conferencia de *biología sintética* se reunió en junio de 2004. Dos meses después, la

Universidad de California en Berkeley anunció el establecimiento del primer departamento de biología sintética en Estados Unidos.¹³⁶

Según el reportero de ciencia W. Wayt Gibbs, la biología sintética implica “diseñar y construir sistemas vivos que se comporten de forma predecible, que usen partes intercambiables, y que en algunos casos operen mediante un código genético expandido, que permitirá que hagan cosas que ningún organismo natural puede hacer”.¹³⁷ Uno de los propósitos, escribe Gibbs, es “extender las fronteras de la vida y las máquinas hasta que las dos se traslapen y arrojen organismos verdaderamente programables”.¹³⁸

Aunque la biología sintética no es siempre sinónimo de nano biotecnología (es decir, la fusión de los ámbitos de lo vivo y lo inerte en la nano escala para hacer materiales y organismos híbridos), la programación y el funcionamiento de “máquinas vivientes” en el futuro implicará con frecuencia la integración de componentes biológicos y no biológicos a nivel nanoscópico. Los científicos que laboran en el nuevo departamento de biología sintética de Berkeley, por ejemplo, están particularmente interesados en el diseño y construcción de *biobots* —robots autónomos diseñados para desempeñar acciones especiales, y que son del tamaño de un virus o una célula, compuestos por partes biológicas y artificiales.¹³⁹

Los científicos han estado dando pasos para construir vida desde la nano escala por algún tiempo ya. En 1968, el químico hinduestadunidense, Har Gobind Khorana, recibió el premio Nobel por sintetizar nucleótidos (las sub unidades químicas —A, T, C, G— que forman la molécula del ADN), enlazándolas en un ADN sintético. En febrero de 1976, un equipo de investigación californiano (que después fundaría Genentech) desarrolló un proceso automatizado para sintetizar ADN y construyó un gene sintético completamente funcional. Los genes sintéticos y el ADN sintético son ahora el elemento central de la ingeniería genética en medicina y agricultura.

En 2002, algunos investigadores de Stony Brook (en la Universidad del estado de Nue-

Mientras que ahora cultivamos un árbol, lo hacemos crecer, lo cortamos y hacemos una mesa, en cincuenta años tal vez simplemente cultivemos una mesa. Mientras más ingenieros trabajen en sistemas biológicos, más se transformará nuestra infraestructura industrial. Hace cincuenta años ésta se basaba en el carbón y el acero. Ahora se basa en el silicio y en la información. Dentro de cincuenta años se basará en los sistemas vivos. Será algo como una nueva era agrícola, pero de un tipo radicalmente diferente.

RODNEY BROOKS,
del laboratorio de ciencias de
computación e inteligencia artificial
de MIT.¹³⁵

va York), sintetizaron las 7 440 letras del genoma de un virus de polio utilizando segmentos de ADN pedidos por correo. Les tomó tres años construir un virus de polio viviente, prácticamente de la nada. Menos de dos años después, un equipo dirigido por Craig Venter (anteriormente en el Proyecto Genoma Humano), logró sintetizar un virus ligeramente menor en sólo tres semanas, lo que abrió la posibilidad de ensamblar con rapidez micro organismos artificiales —y la posibilidad de diseñar armamento biológico peligroso, también de la nada.

Venter, que está a la cabeza del Institute of Biological Energy Alternatives (instituto de alternativas en energía biológica, IBEA por sus siglas en inglés), construye ahora un nuevo tipo de bacteria utilizando un ADN manufacturado en el laboratorio. Su equipo está modificando el ADN del *Mycoplasma genitalium*, una bacteria que cuenta con el menor número de genes de célula viva alguna, con el fin de reducirla a aquellos genes necesarios para la vida. Los investigadores insertarán entonces la forma de vida mínima a la célula bacteriana normal que fuera despojada de su ADN. Según el profesor Clyde Gutchison, un bioquímico que ayudó a secuenciar el genoma del *Mycoplasma*, “La ventaja del organismo sintético sobre la manipulación de organismos naturales... es que entonces uno tiene más control sobre las propiedades de la célula que cuando se confía uno a los mecanismos naturales. Sea con buenos o malos propósitos... más vale estar en la mejor posición posible para diseñar exactamente lo que uno quiere”.¹⁴⁰

Con financiamiento del departamento de Energía estadounidense, Venter intenta construir organismos sintéticos que produzcan energía para mitigar el cambio climático. Tanto Venter como el departamento de Energía resaltan las vastas aplicaciones de la vida sintética, y agregan que los beneficios incluyen “el desarrollo de mejores vacunas, estrategias de terapia genética más seguras; el mejoramiento de los rendimientos de los cultivos agrícolas que son mejores resistencias a la enfermedad [sic] y mejorar las estrategias para combatir las enfermedades del agro e incluso

aumentar nuestra capacidad para detectar y derrotar alguna bio amenaza potencial, lo cual es importante para la seguridad patria”.¹⁴¹ Venter ha dado indicios de que revelará un nuevo genoma artificial a fines de 2004, y que es mayor que un virus pero menor que una bacteria.¹⁴²

En el verano de 2003, el Grupo ETC informó de una investigación de la Universidad de Florida para crear un nucleótido artificial, contraparte hecha por humanos de uno de los cuatro componentes químicos que conforman el ADN (A, T, C, G).¹⁴³ Desde entonces, otros investigadores de la Universidad de Florida lograron añadir una segunda letra artificial —con lo que tienen seis en total— y lo más notable es que forzaron a esta nueva molécula expandida a hacer copias de sí misma.¹⁴⁴ El equipo logró “evolucionar” su ADN artificial a lo largo de cinco generaciones. Según el científico que encabeza el proyecto, el avance “aumentará nuestra capacidad para detectar material genético no deseado proveniente de virus, bacterias e incluso de agentes biológicos bélicos. Actualizará también nuestra capacidad de detectar defectos en el ADN natural, como aquellos responsables del cáncer o de las enfermedades genéticas.”¹⁴⁵ Como lo señaló el Grupo ETC el año pasado, estos avances pueden ser la cosa más grande desde que se empalmó el ADN o podría crear productos finales que contribuyan tanto al armamento biológico como a la detección de enfermedades y al desarrollo de nuevas medicinas.

Plaga verde. Este es el término con el que el Grupo ETC suele describir los peligros potenciales asociados con la biología sintética o la nano biotecnología. Los investigadores están obligando a los organismos vivos a ejecutar funciones mecánicas en forma precisa porque los organismos vivos son capaces de auto ensamblarse y auto replicarse. Su visión es la de enjaezar células vivas y organismos vivientes hechos a la medida, para ejecutar tareas bioquímicas específicas, tales como producir hidrógeno o secuestrar dióxido de carbono. Pero qué pasa si las nuevas formas de vida, especialmente aquellas diseñadas para funcionar

Sospecho que de aquí a cinco años, o algo así, los sistemas genéticos artificiales que hemos desarrollado respaldarán una forma de vida artificial que puede reproducirse, evolucionar, aprender y responder a los cambios ambientales.

PROFESOR STEVEN BENNER,
químico de la Universidad
de Florida¹⁴⁶

de manera autónoma en el ambiente, resultan difíciles de controlar o contener. Qué si algo sale mal. Tal es el espectro de la *plaga verde*.

¿Asilomar+30? Algunos investigadores en el campo de la biología sintética han comenzado a reconocer los riesgos potenciales y las implicaciones éticas de su trabajo. Un editorial reciente aparecido en *Nature* sugiere que puede ser el momento para una cumbre tipo Asilomar, donde se pueda manifestar públicamente que hay miembros de la comunidad de la biología científica que “están dispuestos a consultar y a reflexionar cuidadosamente sobre los peligros —las percepciones y los genuinos riesgos— y actuar en consecuencia moderando sus acciones.”¹⁴⁸

Pero, ¿qué es Asilomar? En 1974, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos estableció un comité de biólogos y bioquímicos moleculares para responder a las crecientes preocupaciones en torno a los potenciales imponderables asociados con la ingeniería genética en el laboratorio. El comité difundió una carta abierta en julio de 1974 llamando a una moratoria voluntaria y parcial relativa a los experimentos de ingeniería genética en laboratorio, y a una reunión internacional de científicos para responder a los riesgos. Asilomar es el centro de conferencias en California donde los prominentes biólogos moleculares se reunieron en febrero de 1975. Los científicos bosquejaron algunos lineamientos de investigación en ingeniería genética y recomendaron que se levantara la moratoria parcial.

Pese a que hoy existen llamados a sostener una nueva junta del tipo de la celebrada en Asilomar, el Grupo ETC considera que Asilomar es un modelo inaceptable para el mundo actual. Hace treinta años la participación en Asilomar estuvo limitada a grupos escogidos de científicos de élite que promovieron un programa de regulación propia, relativa a la ingeniería genética, como forma de anular el espectro de la acción gubernamental; el rango de la discusión se limitó a cuestiones de accidentes y seguridad —excluyendo explícitamente los aspectos sociales y éticos más am-

plios.¹⁴⁹ Según Susan Wright, historiadora de la Universidad de Michigan, muchos de los reporteros que cubrieron la reunión de Asilomar concluyeron que la conferencia “tuvo la intención de evitar el involucramiento del público en vez de animarlo”.¹⁵⁰

Aunque existe la urgente necesidad de encarar las implicaciones sociales y éticas asociadas con la biología sintética y la nano biotecnología, cualquier esfuerzo por confinar las discusiones a reuniones de expertos o de enfocar el debate de las tecnologías nanoscópicas únicamente a aspectos ambientales, de salud o de seguridad, será un error. De igual forma, será contraproducente todo esfuerzo por “educar” o “consultar” a los ciudadanos buscando mejorar las relaciones públicas o apropiarse del escrutinio regulatorio. En su informe reciente, *See Through Science*, Demos, con base en el Reino Unido, asegura que el involucramiento del público en asuntos relativos a ciencia y tecnología no debe constreñirse a informar sobre las decisiones tomadas por los gobiernos: debe modelarlas activamente.¹⁵¹

Si los biólogos se hallan de hecho en el umbral de sintetizar nuevas formas de vida, el rango de abuso o de desastres inadvertidos podría ser enorme.

PHILIP BALL, *NATURE*,
7 de octubre de 2004¹⁴⁷

Pese a que hoy existen llamados a sostener una nueva junta del tipo de la celebrada en Asilomar, el Grupo ETC considera que Asilomar es un modelo inaceptable para el mundo actual.



2. ALIMENTOS Y NUTRICIÓN NANOMÉTRICOS: NANOTECNOLOGÍA PARA LA PANZA

Introducción. Un puñado de productos alimenticios y de nutrición que contienen aditivos nanométricos está ya disponible comercialmente. Cientos de compañías llevan a cabo investigación y desarrollo acerca del uso de herramientas nanotécnicas para diseñar, procesar, empaquetar y llevar alimentos y nutrientes a nuestra canasta de compras y nuestros platos. Entre ellas están las corporaciones gigantes de alimentos y bebidas, pero también pequeñas empresas de innovación nanotecnológica.

Según Jozef Kokini, director del centro de tecnología avanzada de alimentos de Rutgers University (en Nueva Jersey, EUA), “todas las principales corporaciones de alimentos cuentan con un programa de nanotecnología o esperan desarrollar uno”.¹⁵³ En un informe de 2004, producido por Helmut Kaiser Consultancy, “Nanotechnology in Food and Food Processing Industry World Wide” (la nanotecnología en la industria de los alimentos y su procesado a nivel mundial), se predice que el mercado de comestibles nano estructurados crecerá de los 2 600 millones de dólares que suma hoy a 20 400 millones de dólares para 2010.¹⁵⁴ Además de los nano productos alimenticios que están ya en el mercado, se encuentran en varios niveles de desarrollo más de 135 aplicaciones de la nanotecnología (en particular en la nutrición) en las industrias de alimentos y cosméticos.¹⁵⁵ Según Helmut Kaiser, más de 200 compañías a nivel mundial están involucradas en investigación y desarrollo nanotecnológico relacionado con comestibles. Entre las veinte compañías más activas están cinco que se cuentan entre las diez más grandes compañías de alimentos y bebidas del mundo, la principal corporación de alimentos en Australia y la mayor empresa de comida procesada y mariscos de Japón (*ver anexo uno*).

Pese al obvio entusiasmo por la ciencia nano escalar y sus aplicaciones en ingeniería y procesado, la industria de alimentos y bebidas es por lo general conservadora y cautelosa al hablar del futuro de la nanotecnología

relacionada con la alimentación. Casi todos los representantes industriales entrevistados por el Grupo ETC, declinaron dar detalles específicos acerca del nivel de patrocinio o las asociaciones de la industria. Hablamos con científicos en las gigantescas corporaciones de alimentos y bebidas como Kraft y Nestlé, y con investigadores universitarios o representantes de las empresas de innovación nanotecnológica (que en ocasiones son los mismos). Después de presenciar el rechazo generalizado a los alimentos genéticamente modificados, la industria de la alimentación puede sentirse inquieta de apropiarse de investigación y desarrollo que deriven en productos alimenticios “atómicamente modificados”. “La industria alimentaria es más tradicional que otros sectores, como IBM” [donde puede aplicarse la nanotecnología], explica Gustavo Larsen, profesor de ingeniería química y anteriormente consultor de Kraft.¹⁵⁶ “Mi intuición es que existen buenas oportunidades y a veces es más factible realizarlas [en el sector alimentario]. Uno puede hacer nano partículas y usarlas en alimentos —no tiene uno que ensamblarlas primero”.¹⁵⁷ Cuando se le preguntó cuáles productos alimentarios creía él que serían los primeros surgidos de una investigación y desarrollo, Larsen contestó que será el empaquetado el que primero utilice materiales nano escalares, y no tanto nuevos comestibles. “Creo que el empaquetado es una apuesta más segura”, concluyó Larsen.

La manufactura molecular de alimentos

Alguna gente afirma que, en el futuro, la ingeniería molecular nos permitirá “cultivar” cantidades ilimitadas de alimentos sin necesidad de suelos, semillas, tierras labrantías o agricultores —y que con esto se erradicará el hambre en el mundo. Consideremos los siguientes puntos de vista:

* Las nano máquinas podrían crear cantidades ilimitadas de comida mediante una síntesis a nivel atómico, lo que erradicaría el hambre”.

Sólo es cuestión de tiempo para que veamos productos nanotecnológicos en nuestra mesa

Food Technology.
diciembre de 2003¹⁵²

Todas las principales corporaciones de alimentos cuentan con un programa de nanotecnología o esperan desarrollar uno.

JOZEF KOKINI,
director del centro de tecnología
avanzada de alimentos
de Rutgers University

Carmen I Moraru *et al*, profesora de ciencia de la alimentación, Cornell University (EUA), comentando el impacto potencial de la nanotecnología en la ciencia de los alimentos.¹⁵⁸

* “La bio síntesis molecular y el reabastecimiento robótico pueden permitir un rápido reemplazo de la producción, de tal modo que no tuviéramos que depender de sistemas centralizados para cultivar o servir nuestra comida. En los primeros tentativos pasos del ensamblado molecular, podríamos construir inver-

naderos compactos, que podrían hacer posible que millones de personas se dedicaran a una producción local o individualizada, personas que no saben nada de agricultura... En el siguiente paso de la manufactura molecular, la síntesis de alimentos podría ocurrir directamente, sin cultivos ni animales”. Douglas Mulhall, *Our Molecular Future*

* “¿Por qué no podemos los humanos imitar la metodología de la naturaleza? En vez de cosechar granos y criar ganado para obtener

Producir comida mediante una manufactura molecular es el objetivo más ambicioso de la nanotecnología —y el que tiene menos probabilidad de materializarse en un futuro cercano.

Claves históricas: en la víspera de un aniversario

Las regulaciones relativas a la seguridad de los alimentos datan de los días de la antigua Babilonia, pero la era moderna de normas gubernamentales tiene más o menos un siglo. En 1906, el gobierno estadounidense estableció la ley de alimentos y fármacos puros (Pure Food and Drug Act).¹⁶² Confrontado por tanta chicanería empresarial por todas partes, el Congreso estadounidense intentó dejar asentadas algunas reglas básicas para la calidad de los alimentos y los productos agrícolas. La historia muestra que las regulaciones en torno a la seguridad de lo que se ingiere y sus tecnologías asociadas tienen un pasado entreverado.

Fines de los años cuarenta: El *boom* químico posterior a la Segunda Guerra Mundial hizo proliferar por todo el mundo el uso del DDT y otros plaguicidas en los cultivos. Aunque se les anunciara originalmente como un “milagro” para la salud y la producción, quienes diseñaban las regulaciones pronto se dieron cuenta de que dichos químicos que mataban hierbas e insectos podían también matar a la gente. El DDT se retiró del mercado en los setenta, como lo fueron muchos de sus primos químicos.

Años sesenta y setenta: Algunos colorantes, conservadores, aditivos y edulcorantes químicos artificiales, fueron retirados de los anaqueles casi tan pronto como los colocaron, pues los diseñadores de políticas descubrieron que tenían propiedades carcinógenas.

Fines de los años setenta: En 1978, el gobierno estadounidense descubrió que el principal laboratorio del sector privado, que evaluaba los nuevos pesticidas y otros químicos, Industrial Bio-Test Ltd., sistemáticamente falsificó —durante un periodo de diez años— los datos de sus pruebas en animales, lo que puso en entredicho la supuesta seguridad de algunos cientos de químicos agrícolas.¹⁶³ Tiempo después, tres de los altos funcionarios de la compañía fueron condenados por fraude. En vez de retirar de los anaqueles todos los plaguicidas amparados por esos datos de seguridad inválidos, los reglamentadores estadounidenses permitieron que muchos se quedaran hasta que hubiera evidencia convincente de que los productos eran peligrosos.¹⁶⁴

En los ochenta y noventa: La investigación en el campo de salud relativa a los disruptores endócrinos indicó que un gran número de químicos agrícolas y aditivos alimentarios, así como muchos fármacos —especialmente las hormonas del crecimiento—

carbohidratos y proteína, las nano máquinas (robots nanométricos) podrían ensamblar el trozo de carne o la harina deseada a partir de los átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno presentes en el aire como agua y dióxido de carbono. Los robots nanométricos presentes en los alimentos podrían circular por el sistema sanguíneo, limpiándolo de depósitos de grasa y matando patógenos.” Doctor Marvin J Rudolph, director de DuPont Food Industry Solutions, en *Food Technology*, enero de 2004.

Producir comida mediante una manufactura molecular¹⁵⁹ es el objetivo más ambicioso de la nanotecnología —y el que tiene menos probabilidad de materializarse en un futuro cercano. Para aquellos que han seguido el debate de los últimos veinte años, los entusiastas alegatos de que la nueva tecnología alimentará a los hambrientos suenan a cantaleta vacía y cansada. Los optimistas de *lo nano* ven el futuro con los lentes rosa (y verde) de la industria biotecnológica. Ahora es la nanotecnología, vociferan, la que erradi-

podrían dañar la salud humana.¹⁶⁵ Muchos investigadores asociaron el crecimiento del cáncer, el asma, los problemas de atención deficitaria y otros desórdenes neurológicos con los químicos que se introdujeron a la cadena alimenticia y/o al ambiente desde la Segunda Guerra Mundial.¹⁶⁶

1996: Cuando en Estados Unidos se aprobó la venta comercial de los cultivos genéticamente modificados, una reticencia de los consumidores (que se comenzó a generalizar rápidamente en Europa y otras partes del Sur), instó a que la Convención de Diversidad Biológica de Naciones Unidas comenzara deliberaciones tendientes a un Protocolo de Biodiversidad. Siete años después —en 2003— entró en efecto un débil Protocolo de Bioseguridad.

1996: El gobierno del Reino Unido aceptó que una variante de la encefalopatía esponjiforme bovina (conocida popularmente como la enfermedad de vacas locas) se había diseminado en humanos, lo que ocasionó una matanza masiva de hatos británicos. Los responsables de las regulaciones y los científicos se equivocaron al creer que alimentar a las vacas con piensos que contenían materia residual vacuna no implicaba riesgos para la salud.

Fines de los noventa: Las empresas multinacionales del tabaco —que enfrentaban demandas legales por miles de millones de dólares— aceptaron finalmente que el tabaco es dañino para la salud —pero sólo después de que estas compañías repartieran sus propios riesgos diversificándose al procesado de alimentos y bebidas.

2000: Confundidos por la revuelta de los consumidores contra los alimentos genéticamente modificados, muchos procesadores y minoristas de abarrotes rehusaron tales productos comprometiéndose a no “aceptar esa bala” de Monsanto.

2002: La Organización Mundial de la Salud advirtió de la “globesidad”. El estilo de vida que depende de la “comida rápida” comenzó una pandemia de sobre peso y obesidad entre la clase media del Norte y el Sur.

2004: Los agricultores y los consumidores se enteraron de que se están desarrollando o comercializando nano partículas para la producción agrícola y ganadera, y en los alimentos procesados, sin una regulación específica a los tamaños de su tecnología.

En el mañana diseñaremos alimentos moldeando moléculas y átomos. La biotecnología nano escalar y la bio informática nanométrica tendrán grandes impactos en las industrias de alimentos y su procesado.

HELMUT KAISER,
consultor en nanotecnología
y mercados

Para aquellos que han seguido el debate de los últimos veinte años, los entusiastas alegatos de que la nueva tecnología alimentará a los hambrientos suenan a cantaleta vacía y cansada.

cará el hambre aumentando los rendimientos agrícolas, intensificando el contenido nutricional de los alimentos y eliminando el riesgo de alérgicos en las comidas.¹⁶⁰

El Grupo ETC concluye que la actual “nanotecnología para la panza” sigue la misma trayectoria que otros desarrollos e investigaciones nano escalares, a juzgar por sus primeras aplicaciones en el área de materiales y sensores “inteligentes”. Otras aplicaciones más revolucionarias, como la modificación atómica de los alimentos, tal vez son más lejanas. Pero es importante resaltar que unos cuantos científicos ambiciosos intentan ya crear comida en el laboratorio.

Los ingenieros en tejidos celulares de Toure College (en la ciudad de Nueva York) y de la Medical University of South Carolina (EUA), experimentan con hacer crecer carne “marinando” células del mioblasto (musculares) de peces, en nutrientes líquidos para impulsar a las células a que se dividan y multipliquen por su cuenta. El objetivo a corto plazo es evitar que los astronautas pasen hambre en el espacio¹⁶¹ (las notas 162 a 166 están en el recuadro de las páginas 42-43).

Empacado. Hoy, el empaçado y la supervisión de comestibles son uno de los focos principales de la investigación y desarrollo relacionados con la nanotecnología aplicada a la industria alimentaria. El empaçado que incorpore materiales nanométricos puede ser “inteligente”, lo que significa que puede res-

ponder a condiciones ambientales o repararse a sí mismo, alertar al consumidor de contaminaciones y/o presencia de patógenos. Según los analistas de la industria, se calcula que el mercado estadounidense actual para empaques de alimentos y bebidas “activos, controlados e inteligentes”, sobrepasará los 54 mil millones de dólares hacia 2008.¹⁶⁷ Los siguientes ejemplos ilustran las aplicaciones nano escalares introducidas en el empaçado de alimentos y bebidas:

- * El gigante químico Bayer produce una película plástica transparente (conocida como Durethan) que contiene nano partículas de arcilla. Estas diminutas partículas se dispersan por el plástico y pueden bloquear el oxígeno, el dióxido de carbono y la humedad, de tal suerte que no lleguen a las carnes y otros alimentos. La arcilla nanométrica hace al plástico más ligero, más fuerte y más resistente al calor.¹⁶⁸
- * Hasta hace poco, la industria buscaba cómo empaçar cerveza en botellas de plástico (lo que reduciría los costos de transporte), pero no lo logró porque existen problemas de derrame y de alteraciones en el sabor. Hoy, Nanocor, una subsidiaria de Amcol International Corp., está en la producción de compuestos nano estructurados utilizables en botellas de cerveza hechas de plástico, que le dan a la bebida una vida de seis meses en el anaquel.¹⁶⁹ Al incrustar cristales nanométricos en el plástico, los investigadores crearon una barrera molecular que ayuda a evitar las fugas de oxígeno. Nanocor y Southern Clay Products trabajan ahora en una botella plástica de cerveza que puede incrementar la vida en el anaquel hasta 18 meses.¹⁷⁰
- * Kodak, mejor conocido por producir rollos de película fotográfica, utiliza nanotecnología para desarrollar un empaçado antibacterial para productos alimenticios que estará disponible comercialmente en 2005. Kodak desarrolla también otros “empaques activos” que absorben oxígeno, lo que mantiene frescos los alimentos.¹⁷¹
- * Los científicos de Kraft, así como Rutgers University y la Universidad de Connecticut,



trabajan en películas y empaques nano estructurados con sensores incrustados que detectarán los patógenos de la comida. Conocida como “lengua electrónica”, esta herramienta a base de sensores puede detectar sustancias en partes al billón y podría disparar un cambio de color en el empaque para alertar al consumidor si la comida se contaminó o se empieza a echar a perder.¹⁷²

* Los investigadores holandeses van un paso más allá al desarrollar un empaque inteligente que soltará un conservador en los alimentos cuando se empiecen a descomponer. La “liberación por comandos” de los empaques conservadores opera mediante un bio obturador diseñado con nanotecnología.¹⁷³

* Desarrollar diminutos sensores que detecten los patógenos que crecen en los alimentos no sólo expandirá el alcance de la agricultura industrial a gran escala y el procesamiento de alimentos. De acuerdo con la visión de los militares estadounidenses, es una prioridad de seguridad nacional.¹⁷⁴ Con las herramientas actuales, probar la contaminación microbiana de los alimentos toma entre dos y siete días, y los sensores desarrollados hasta el momento son muy grandes para transportarlos fácilmente.¹⁷⁵ Varios grupos de investigadores en Estados Unidos desarrollan bio sensores que pueden detectar patógenos rápida y fácilmente, pues consideran que los “súper sensores” jugarán un papel crucial en la eventualidad de un ataque terrorista a los sitios de abastecimiento de comestibles. Con respaldo económico del USDA y la Fundación Nacional de la Ciencia, los investigadores de Purdue University trabajan en producir un sensor manuable capaz de detectar bacterias específicas, instantáneamente, a partir de cualquier muestra. Crearon ya una compañía de innovación llamada BioVitesse.¹⁷⁶

Pese a que los dispositivos capaces de detectar los patógenos que crecen en los alimentos podrían ser útiles en la supervisión de los abastos alimenticios, los sensores y los empaques inteligentes no van a la raíz de las inquietudes y problemas inherentes a la producción

industrial de alimentos que ocasionan contaminación: líneas de destazamiento de carne más rápidas, mecanización creciente, una fuerza de trabajo compuesta por obreros mal pagados, la ausencia de un rendimiento de cuentas por parte del gobierno y las empresas y una distancia enorme entre los productores, los procesadores y los consumidores. De la misma forma en que se ha vuelto responsabilidad del consumidor asegurarse de que su carne fue cocida lo suficiente como para garantizar que todos los patógenos murieron, pronto querrán que los consumidores sean sus propios inspectores de carnes, de tal modo que la industria siga recortando los costos invertidos en seguridad mientras aumentan sus ganancias.

Etiquetado y supervisión

Etiquetas identificadoras con frecuencia de radio. Las etiquetas de esta naturaleza, conocidas por su acrónimo en inglés (RFid), son chips pequeños, inalámbricos, de circuito integrado, equipadas con radio transmisión y un código de identificación incrustado. La ventaja de las etiquetas RFid sobre otras etiquetas rastreables —como los códigos de barras adheridos actualmente a casi todos los productos de consumo— es que las etiquetas RFid son lo suficientemente pequeñas como para incrustarse en el producto mismo, no sólo en su empaque; pueden contener mucho más información, pueden detectarse a distancia (y por entre los materiales, como las cajas y otros empaques) y pueden leerse muchas etiquetas al mismo tiempo. Las etiquetas RFid se usan ya para rastrear ganado, adheridas a las orejas o inyectadas al animal. El chip completo puede ser del tamaño de una mota de polvo —más cerca de la micro escala que de la nano escala, pero con componentes nanoscópicos incorporados en ella. Quienes desarrollan estas herramientas avizoran un mundo donde se pueda “identificar cualquier objeto en cualquier parte, automáticamente”.¹⁷⁷

Utilizadas en los empaques de alimentos, las etiquetas RFid pueden ejecutar tareas relativamente simples, como permitir a los cajero-

Pese a que los dispositivos capaces de detectar los patógenos que crecen en los alimentos podrían ser útiles en la supervisión de los abastos alimenticios, los sensores y los empaques inteligentes no van a la raíz de las inquietudes y problemas inherentes a la producción industrial de alimentos que ocasionan contaminación.

¿Son la mejor respuesta unos sensores más eficientes? Si unos terroristas contaminaran con bacterias de E. coli los 9 millones de kilogramos de carne distribuidos a la mitad de la población estadounidense, nos volveríamos locos. Pero cuando esto mismo lo hace una de las cien corporaciones anotadas en la lista de Fortune, continuamos comprándola y se la damos a nuestros hijos.

DIANE CARMEN, en *The Denver Post*, 26 de julio de 2002, comentando sobre la alarma de terneras contaminadas de la compañía ConAgra

ros en los supermercados verificar todas las compras del cliente de una sola vez, o alertar a los consumidores que los productos llegaron a su fecha de caducidad. Estas etiquetas son controvertidas porque pueden transmitir información incluso después de que el producto abandonó el supermercado. Los propugnadores de la privacidad se preocupan de que los comerciantes tengan mayor acceso a datos relativos al comportamiento de los consumidores. Su propuesta es que las etiquetas se desactiven en la caja registradora (lo que se conoce como “matar la etiqueta”) para asegurarse de que sus datos personales no sean obtenidos y almacenados. Wal-Mart en Estados Unidos y TESCO en el Reino Unido prueban ya el etiquetado con RFID en algunos productos, en algunas de sus tiendas.¹⁷⁸

Una alternativa de etiquetado son los “códigos de barras nanoscópicos”, dispositivos de monitoreo que funcionan como el código UPC, pero en la nano escala. Un tipo de código de barras nanoscópico —desarrollado por Nanoplex Technologies— es una nano partícula hecha con tiras metálicas, donde las variaciones en las tiras proporcionan un método de codificar información.¹⁷⁹ Nanoplex cambia la longitud y el ancho de las partículas, así como los números, el ancho y composición de cada tira, con lo que logra miles de millones de variantes. Al momento se usan ya en tintas, telas, ropa, papel, explosivos y joyería. Los códigos pueden leerse utilizando un lector óptico manual, o un microscopio que mide la diferencia en la reflectividad de las tiras metálicas. La plata y el oro reflejan la luz de manera diferente, por ejemplo, y los diseños de la reflexión dan a cada partícula su código único. Además del oro y la plata, Nanoplex fabrica códigos de platino, paladio, níquel y cobalto.

Nanoplex produce también etiquetas “Sense” (juego de palabras y acrónimo y de su nombre en inglés: Silicon Enhanced Nanoparticles for Surface Enhanced Raman Scattering [nano partículas intensificadas con silicio para un aumento en su dispersión superficial Raman]) —nano partículas de metal de 50 nm que tienen códigos semejantes a los códigos

únicos de las barras. Las etiquetas Sense se pueden incorporar a los paquetes y leerse en dispositivos automatizados a un metro de distancia, permitiendo identificar artículos en las salidas de las tiendas, como las etiquetas RFID, o de forma encubierta en los puertos de entrada y salida.¹⁸⁰

El etiquetado de los alimentos significará que pueden monitorearse de la fuente al tenedor —durante el procesado, en el camino, en los restaurantes o en los anaqueles del supermercado y, eventualmente, incluso después de que alguien los compre. Acoplados a nano sensores, esos mismos paquetes pueden rastrearse con el fin de detectar patógenos, cambios en la temperatura, derrames, etcétera.

Comida nanométrica: en el fondo, ¿qué se cocina?¹⁸¹

En 1999, Kraft Foods, la subsidiaria de Altria (antes conocida como Phillip-Morris) valuada en 34 mil millones de dólares, estableció el primer laboratorio de alimentos con nanotecnología. Al año siguiente Kraft lanzó el consorcio NanoteK, que brinda cobertura a quince laboratorios de investigación, públicos y universitarios, por todo el mundo.¹⁸² Ninguno de los científicos involucrados en el consorcio son ingenieros en alimentos por formación; en cambio, son una mezcla de químicos moleculares, investigadores en materiales, ingenieros y físicos.¹⁸³

Ver los alimentos desde la perspectiva de la ingeniería no es nada nuevo. En los últimos treinta años los científicos han introducido genes de una especie de planta o animal a otra, utilizando métodos de modificación genética, pero por lo menos hace mil años la gente le ha introducido aditivos especialmente formulados a la comida, con el fin de impartirle nuevos sabores, texturas, colores y otras cualidades. Las tecnologías nano escalares llevarán la ingeniería de alimentos “a lo diminuto”, un nuevo nivel que cuenta con el potencial de cambiar en forma dramática la forma en que se cultivan, producen, procesan, empacan, transportan y comen los alimentos.

Aditivos alimentarios nano escalares. De hecho, los productos de la nanotecnología han comenzado a “aparecer” en los alimentos (pese a ser tan pequeños que no se ven, y los consumidores no tienen manera de saberlo pues no existen requisitos de etiquetado ni regulaciones específicas a su tamaño). BASF, por ejemplo, produce una versión nano escalar de carotenos, una clase de aditivos alimentarios que imparte un color naranja y que se presenta, de forma natural, en zanahorias y tomates. Algunos tipos de carotenos son anti oxidantes y se pueden convertir en vitamina A, dentro del organismo. BASF vende carotenos sintéticos (que se usan en refrescos, jugos de frutas y margarinas) a las principales compañías de alimentos y bebidas en todo el mundo.¹⁸⁴ La formulación nano escalar hace que sea más fácil absorberlos, pero también expande la vida del producto en los anaqueles.¹⁸⁵ (Las ventas por carotenos le reditúan a BASF unos 210 millones de dólares anuales. Esta cifra incluye los carotenos comunes y los nano estructurados.)¹⁸⁶

En 2002, BASF emitió una notificación de inocuidad (sobre uno de sus productos *ampliamente reconocido como inofensivo* —Generally Recognized as Safe o GRAS) para informarle a la Administración de Alimentos y Fármacos estadounidense (FDA, por sus siglas en inglés) de la venta de un caroteno sintético llamado lycopeno (que se presenta naturalmente en los tomates) para ser usado como aditivo en alimentos. El lycopeno sintético de BASF está formulado en el nivel nanoscópico. Según BASF, no fue necesario probar de forma especializada su lycopeno nano particulado porque “BASF demostró su seguridad en una variedad de... evaluaciones toxicológicas”.¹⁸⁷ La FDA aceptó la notificación de BASF sin averiguaciones.¹⁸⁸ En entrevista telefónica posterior, Robert Martin, de la FDA, confirmó que el tamaño no se tomaba en cuenta en la revisión del lycopeno sintético de BASF y explicó que “el tamaño, *per se*, no es una consideración central” en las revisiones regulatorias, pero que podía responderse a dicha cuestión “sobre la base de caso por caso” si pareciera haber alguna implicación para la seguridad o la salud.¹⁸⁹

¿Será seguro añadirle nano partículas a los alimentos? La respuesta breve es: “nadie lo sabe de cierto”. El asunto deben todavía confrontarlo los reguladores o la comunidad científica. El Grupo ETC ha identificado en el mercado actual un puñado de aditivos alimentarios nano escalares, pero no podemos asegurar qué tan difundida está su utilización, dado que no hay requisitos de etiquetado para ellos. Al igual que ocurre en otros ámbitos sujetos a regulación —como la industria de cosméticos y químicos—, la cuestión de los posibles riesgos no se aborda aún desde la perspectiva del tamaño. Hasta el momento, los fabricantes se atienen a considerar el tamaño —principalmente en términos de las ventajas de mercado que ofrece el tamaño

El etiquetado de los alimentos significará que pueden monitorearse de la fuente al tenedor —durante el procesado, en el camino, en los restaurantes o en los anaqueles del supermercado y, eventualmente, incluso después de que alguien los compre. Acoplados a nano sensores, esos mismos paquetes pueden rastrearse con el fin de detectar patógenos, cambios en la temperatura, derrames, etcétera.

Noticia: El movimiento de comida min scula llega a la tienda de abarrotes



El Grupo ETC ha identificado en el mercado actual un puñado de aditivos alimentarios nano escalares, pero no podemos asegurar qué tan difundida está su utilización, dado que no hay requisitos de etiquetado para ellos.

minúsculo (digamos, un decremento del tamaño aumenta su disponibilidad biológica en los alimentos; un decremento del tamaño aumenta la transparencia de los cosméticos).

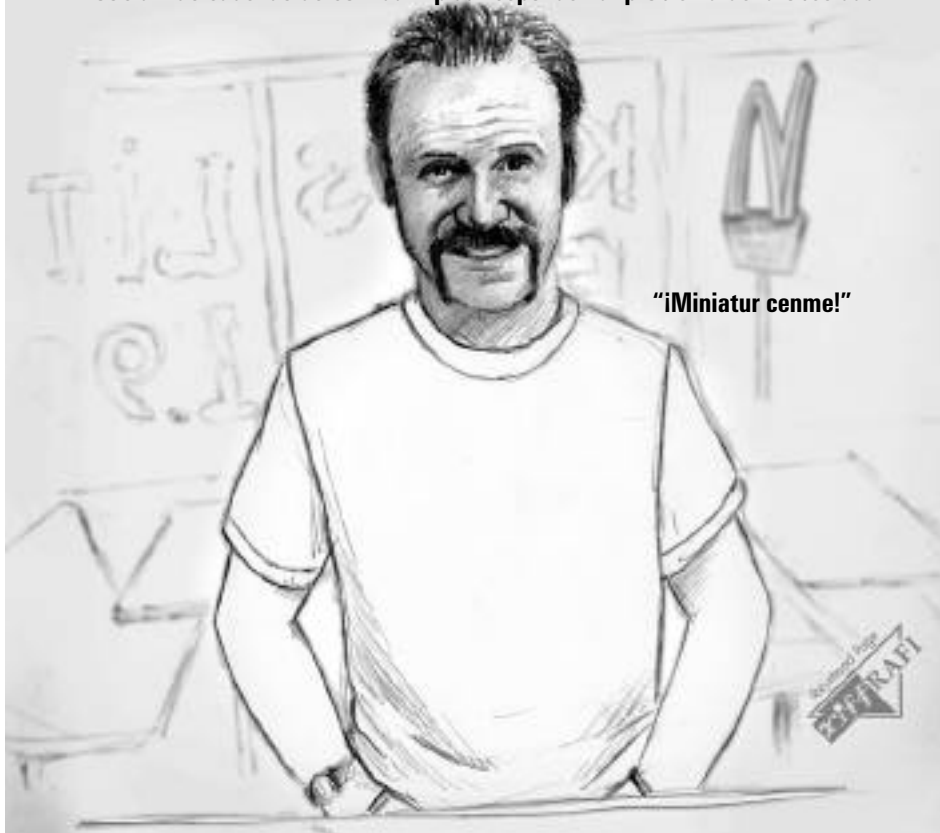
En el caso de los aditivos que también se presentan naturalmente en los alimentos, no es claro cuáles son los aspectos que puedan implicar riesgo. Por ejemplo, en la discusión acerca del licopeno sintético, el doctor Gerhard Gans, de BASF, explicó que una vez que el licopeno nano escalar sintético alcanza el vientre, se comporta de la misma manera que el licopeno hallado en los tomates: lo descomponen las enzimas digestivas y se va por el torrente sanguíneo a otros órganos, ya como moléculas individuales.¹⁹⁰ En otras palabras, para el momento en que entra al torrente sanguíneo, toda la comida tiene una escala nanoscópica —sea que comenzara como una rebanada de tomate o como un vaso de refresco que contenga el licopeno sintético de BASF. (Tal vez pensando en las preocupaciones por la salud que generan las nano partículas, el doctor Gans enfatizó que el licopeno sinté-

tico manejado por los empleados de BASF y que se suministra a sus clientes no estaba en la forma de nano partículas; en esa etapa, dijo, las partículas se agrupan en soluciones a nivel de micras, lo que parcialmente disuelve el producto final. En última instancia, las enzimas digestivas del consumidor llevan de nuevo las partículas a la nano escala.)

Aunque tiene sentido, *a priori*, la explicación de que toda la comida es nano escalar al momento de entrar al torrente sanguíneo, es importante resaltar que BASF aplica a su licopeno pruebas toxicológicas no porque su formulación esté nano estructurada, sino porque se produjo mediante síntesis química (en vez de derivarse directamente de frutas y legumbres que contienen licopeno). Si el licopeno sintético hubiera sido considerado un ingrediente alimenticio, BASF no habría tenido obligación alguna de probar los riesgos potenciales de su versión nanoscópica. Esto es lo que torna alarmante la perspectiva de añadirle nano partículas a los alimentos (en ausencia de regulaciones específicas que presen atención al tamaño): qué sustancias nano formuladas están en camino cuyo uso como aditivos alimentarios ya se aprobó en su escala normal, pero que ahora su formulación en la nano escala altera sus propiedades con consecuencias desconocidas. Es de particular preocupación la formulación nanoscópica de sustancias que no ocurren naturalmente en los alimentos.

Tomemos el ejemplo del dióxido de titanio (TiO_2): este compuesto fue aprobado como aditivo colorante por la FDA en 1966, con la única estipulación de que no excediera “el 1 por ciento del peso” total del producto.¹⁹¹ (El dióxido de titanio, de micras de tamaño, imparte un color blanco brillante cuando se le añade a los glaseados de galletas y pasteles.) La FDA aprobó también el dióxido de titanio como “sustancia adecuada para su contacto con alimentos”, lo que significa que cuando entra en contacto con la comida al ser incorporado en un empaque, no le ocasionará daño alguno. El dióxido de titanio se ha usado como colorante (blanco) en el papel con que se empacan alimentos.¹⁹²

Noticia: Las cadenas de comida rápida responden al problema de la obesidad.



Con los avances logrados en técnicas nanométricas, el dióxido de titanio puede ahora formularse en la nano escala. Los cambios cuánticos en las propiedades que ocurren con la reducción en el tamaño ofrecen ventajas para ciertas aplicaciones. Pero algunos de los cambios nano escalares en sus propiedades —una mayor reactividad química— han generado inquietud cuando la sustancia nano escalar entra en contacto íntimo con el cuerpo humano (por ejemplo, siendo ingrediente de algunos cosméticos).¹⁹³ Las partículas nano escalares de dióxido de titanio ya no son blancas (son transparentes), pero aún así bloquean la luz ultravioleta (UV) de la misma forma que sus versiones más grandes. Siendo transparente, el dióxido de titanio nano escalar se usa ahora en las envolturas de plástico para alimentos, con el fin de protegerlos de los rayos UV. Como el dióxido de titanio ya fue aprobado como colorante aditivo y como sustancia adecuada para su contacto con alimentos, sus aplicaciones nano escalares no requieren pruebas adicionales de toxicidad. Y los límites de porcentaje por peso puestos en los años sesenta no son relevantes ahora, pues pequeñas cantidades de las formulaciones nano escalares de hoy pueden producir grandes efectos.

El dióxido de silicio (SiO₂), conocido también como sílice, es otro ejemplo de aditivos alimentarios aprobados por la FDA que no están presentes de forma natural en los alimentos. El sílice es una sustancia común en la naturaleza —la arena de la playa y el cuarzo son formas casi puras de sílice cristalino.¹⁹⁴ El sílice existe también en forma amorfa, no cristalina (por ejemplo la tierra diatomácea) y es en esta forma en que se le produce sintéticamente, y que está aprobado por la FDA como agente antiaglutinante.¹⁹⁵ (El sílice amorfo se conoce también como sílice “ahumado”.) La regulación estipula que el contenido de sílice no debe rebasar el 2 por ciento del peso del alimento que lo contiene. Ya están disponibles comercialmente alimentos que contienen sílice ahumado en partículas nanométricas.¹⁹⁶ De nuevo, no queda claro qué productos contienen sílice sintético nano escalar porque no hay requisitos de etiquetado.

En 1998, Mars, Inc., una de las corporaciones de alimentos más grandes del mundo, obtuvo la patente estadounidense 5 741 505 por “productos comestibles con cubierta inorgánica”. Estas cubiertas crean una barrera que evita que el oxígeno o la humedad penetren hacia el producto por debajo de la cubierta, lo que por supuesto aumenta su vida en los anaqueles. La patente afirma que el invento evitará que los caramelos duros se vuelvan pegajosos, que las galletas se arrancien, que los cereales se apelmacen en la leche, etcétera. Las cubiertas están hechas de varios compuestos químicos de los cuales se mencionan en específico el dióxido de silicio, o sílice, y el dióxido de titanio. Según los inventores, los recubrimientos deben ser sumamente delgados para cumplir con las regulaciones de peso y debido a consideraciones de textura y “sensación al paladar”. La patente señala que la cubierta ideal va de .5 nm a los 20 nm de grosor. Aunque se puede hacer cubiertas de cualquier material inorgánico, los inventores afirman que es preferible usar sustancias que ya pasaron la prueba de riesgo GRAS, certificada por la FDA, como lo son el dióxido de silicio y el dióxido de titanio. La solicitud de patente describe un ejemplo de su invención: se recubrieron dulces como M&M, Twix y Skittles con películas inorgánicas nanoscópicas.

El Grupo ETC no está en posición de evaluar los riesgos o seguridad de los aditivos nano escalares usados en los alimentos. Pero queremos resaltar el vacío regulatorio donde el tamaño *no importa* y donde las formulaciones nano escalares no provocan escrutinio regulatorio alguno. Es una especie de “nepotismo de partículas” que podría tener consecuencias peligrosas: si el Gran Hermano pasa las pruebas de riesgos, el Hermanito ni siquiera tiene que hacer el examen.

Por encargo especial

La industria trabaja en la ingeniería de alimentos de tal modo que sea más “funcional” —lo que significa que los alimentos sean más nutritivos (o que lo parezcan) y que sirvan propósitos más allá de su fin biológico de

Qué sustancias nano formuladas están en camino cuyo uso como aditivos alimentarios ya se aprobó en su escala normal, pero que ahora su formulación en la nano escala altera sus propiedades con consecuencias desconocidas. Es de particular preocupación la formulación nanoscópica de sustancias que no ocurren naturalmente en los alimentos.

Existe una especie de “nepotismo de partículas” que podría tener consecuencias peligrosas: si el Gran Hermano pasa las pruebas de riesgos, el Hermanito ni siquiera tiene que hacer el examen.

El Grupo ETC no está en posición de evaluar los riesgos o seguridad de los aditivos nano escalares usados en los alimentos. Pero queremos resaltar el vacío regulatorio donde el tamaño no importa y donde las formulaciones nano escalares no provocan escrutinio regulatorio especial alguno.

proporcionar energía mediante el consumo de calorías. Muchas compañías consideran que las tecnologías nano escalares ayudarán en esta búsqueda y se enfocan en el proceso de suministro o “entrega” de las sustancias de la comida al organismo.

La mayoría de nosotros no pensamos mucho en esta “entrega” cuando se trata de comida, salvo que estemos esperando que nos traigan una pizza desde el otro lado de la ciudad: mordemos, masticamos, tragamos y nuestros tractos digestivos se hacen cargo del resto. Pero para beneficiarse de este suministro —sea la vitamina C de una manzana que acabamos de morder o el licopeno sintético de nuestro refresco— el nutriente debe llegar al lugar justo del organismo y debe estar activo cuando llega.¹⁹⁷ Controlar y diseñar el suministro de los nutrientes es un reto, y dominar dicho proceso conllevará enormes ganancias. Según los analistas de la industria, tan sólo en Estados Unidos el mercado de alimentos funcionales que contienen nutrientes benéficos a nivel médico —valuado en 2003 en la suma de 23 mil millones de dólares— excederá los 40 mil millones de dólares para 2008.¹⁹⁸

En diciembre de 2000, el Grupo ETC informó que la industria nanotecnológica buscaba desarrollar una nueva generación de productos biotecnológicos: “nutracéuticos” genéticamente modificados y alimentos funcionales que intentaban suministrar claros beneficios a los consumidores (o por lo menos que así lo pareciera).¹⁹⁹ Sin embargo, ensombrecidos por la más amplia controversia en torno a los cultivos genéticamente modificados, los productos nutracéuticos genéticamente modificados se quedaron atorados en el ducto. ¿Podrá la nanotecnología donde falló la biotecnología?

Al igual que los gigantes farmacéuticos, agro químicos y cosméticos, las compañías de alimentos y bebidas experimentan también con el uso de nano cápsulas para suministrar con mayor precisión los ingredientes activos. Una manera de conservar un componente activo es adosarle una “envoltura” protectora. Puede entonces diseñarse una cubierta que se disuelva, o un ingrediente activo que se cuele por entre ésta, al impacto del es-

tímulo preciso. Hay ya varios cientos de tipos de micro cápsulas usadas como aditivos alimentarios tan sólo en Estados Unidos,²⁰⁰ algunas destinadas a la liberación controlada de sus ingredientes activos. George Weston Foods, de Australia, por ejemplo, vende una versión de su popular pan de caja Tip Top, conocido como “Tip Top-up”, que contiene micro cápsulas de aceite de atún alto en ácidos grasos Omega-3. Dado que el aceite de atún está contenido en una micro cápsula, el consumidor no prueba el aceite de pescado, que es liberado por la digestión en el momento en que llega al estómago. La misma tecnología se emplea en yogurts y comida de bebés.

Las grandes compañías (Unilever, Kraft) y las pequeñas, desarrollan ahora nano cápsulas:

- * Los investigadores de Hebrew University en Jerusalén crearon una compañía de innovación, Nutralease. Solicitaron una patente²⁰¹ sobre una estructura auto ensamblada nano escalar que puede transportar ingredientes activos al interior del cuerpo (y por éste). Según reza la solicitud de patente presentada por la compañía, su “nano vehículo” puede diluirse en aceite o en agua sin afectar su ingrediente activo. Los nano vehículos de la compañía se encuentran ya en el mercado en un aceite de canola que reduce el colesterol.²⁰² Nutralease acaba de firmar un contrato con una compañía israelí de carne que desea inyectarle un poco de vida a sus hot dogs. También está en proceso otro contrato con un fabricante de helados.²⁰³
- * Royal BodyCare, una compañía con sede en Texas (EUA), ha creado lo que llama “nutracéuticos” (y ha solicitado una marca registrada para el nombre) que utilizan una envoltura de diferente tipo para suministrar “diminutos y poderosos racimos minerales que se supone incrementan la absorción de los nutrientes en nuestras células”.²⁰⁴ Royal BodyCare pone estas nano partículas en su línea de suplementos nutricionales conocida como “ Súper Alimentos”.
- * BioDelivery Sciences International (BDSI) desarrolló y patentó “nano cocleares” [se le dice cóclea a una estructura interna del

oído, en forma de caracol], es decir nano partículas espirales o enroscadas (del tamaño de unos 50 nm de diámetro), derivadas de la soya (una que no está genéticamente modificada, insisten ellos) y del calcio que pueden llevar y suministrar compuestos farmacéuticos, así como nutrientes tales como vitaminas, licopenos y ácidos grasos Omega-3, directamente a las células. La compañía afirma que sus nano cocleares pueden depositar ácidos grasos Omega-3 en pasteles, panqués, pasta, sopas y galletas sin alterar el sabor ni el olor del producto.²⁰⁵ Aún no existen en el mercado productos que contengan sistemas de suministro basados en nano cocleares, pero la compañía busca activamente otorgar licencias de su tecnología. Raphael Mannino, investigador en jefe de BDSI dice: “Tenemos tratos con algunas compañías [alimentarias] que están realmente muy entusiasmadas”.²⁰⁶ Mannino dijo al Grupo ETC que no era claro aún cuántos o cuáles obstáculos regulatorios tendría que sortear su compañía antes de que su sistema nano escalar de suministro de nutrientes pudiera comercializarse. “Nadie está seguro aún”, comentó.²⁰⁷ Antes de que comercializar sus innovaciones se haga realidad, BDSI debe lograr la fabricación a gran escala de su tecnología de nano cocleares. En el escenario más optimista, Mannino dijo que estarían en los alimentos “en un año”.

* Con financiamiento del USDA, LNKChemolutions (una compañía fundada por el doctor Gustavo Larsen, profesor de ingeniería química de la Universidad de Nebraska) desarrolla nano cápsulas de polímeros comestibles para evitar que se degraden el sabor y el aroma de las moléculas de los alimentos. El fin es aumentar la vida en los anaqueles de productos comestibles delicados, pero la compañía declinó revelar a cuáles se refería.²⁰⁸

* Hay otras compañías que trabajan con tecnologías nano escalares para crear alimentos interactivos que funcionen mediante suministros “por encargo especial”. La idea es que el consumidor pueda escoger —de

acuerdo con su estética individual, sus necesidades nutricionales o sus preferencias de sabor— cuáles componentes deben ser activados y suministrados, y cuáles no. Los científicos del consorcio NanoteK, de Kraft, desarrollan cápsulas nanoscópicas cuyas paredes estallarán según diferentes frecuencias de micro ondas, de tal suerte que los consumidores pueden “activar” nuevos sabores y colores. Innumerables nano cápsulas permanecerían “dormidas” y sólo las deseadas entrarían en acción al ser “llamadas”. Kraft trabaja también en el perfeccionamiento de sensores que sean capaces de detectar las deficiencias nutricionales de un individuo y responder en consecuencia, mediante alimentos inteligentes que liberen las moléculas de los nutrientes requeridos.²⁰⁹

A principios del año entrante, los investigadores en alimentos se reunirán para discutir varias aproximaciones nano y microscópicas para lograr, en la alimentación, una liberación y una absorción controladas de nutrientes —en el primer simposio internacional sobre “funcionalidad en el suministro mediante sistemas complejos de alimentación: aproximaciones inspiradas en la física, de la nano escala a la micro escala”, en el cen-

Al igual que los gigantes farmacéuticos, agro químicos y cosméticos, las compañías de alimentos y bebidas experimentan también con el uso de nano cápsulas para suministrar con mayor precisión los ingredientes activos.

Los científicos del consorcio NanoteK, de Kraft, desarrollan cápsulas nanoscópicas cuyas paredes estallarán según diferentes frecuencias de micro ondas, de tal suerte que los consumidores pueden “activar” nuevos sabores y colores.

Noticia: Las partículas nanoscópicas hacen posible tener bebidas múltiples en un solo refresco



Las alianzas de las industrias de alimentos y cosméticos ilustran la tendencia a difuminar las fronteras entre la comida, las medicinas y los cosméticos, una tendencia que la nanotecnología habrá de acelerar.

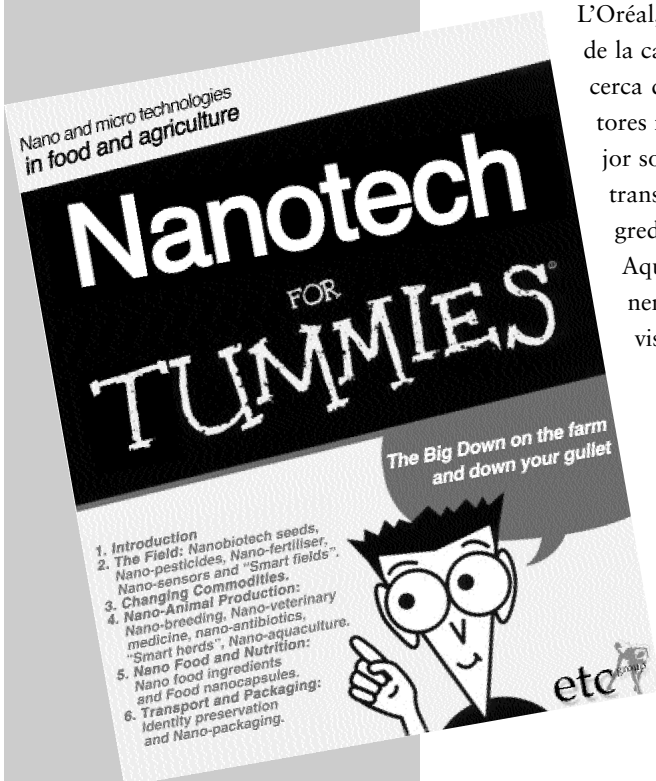
tro de investigaciones de la compañía Nestlé, en Lausana, Suiza.²¹⁰

Además de ayudar al suministro de nutrientes, las partículas nanoscópicas pueden usarse en los alimentos para alterar otras propiedades. Por ejemplo, la margarina, los helados, la mantequilla y la mayonesa, pertenecen a esa clase de comestibles conocidos como coloides, donde en un medio específico —líquido, gas o sólido— se dispersan pequeñas partículas. Unilever, Nestlé y otros, conducen investigaciones y ya cuentan con patentes para fabricar nuevos coloides con partículas nanoscópicas que extienden la vida en los anaqueles, prolongan la sensación de sabor en la boca y mejoran la estabilidad del producto (*ver anexo dos*).

Nutricosméticos. Comer es sólo una de las formas de suministrar ingredientes activos al organismo. L'Oréal de París, la firma líder en cosméticos del mundo, comercializa ya productos para el cuidado de la piel que contienen partículas nano escalares.²¹¹ (Nestlé tiene una tajada del 49 por ciento en L'Oréal.)²¹² Los “nanosomas” de la compañía son diminutos sistemas de suministro inter celular que penetran la piel y liberan vitamina E. Según

L'Oréal, “dado que los intersticios de la capa externa de la piel miden cerca de 100 nanómetros, los vectores nanoscópicos ofrecen la mejor solución para el problema del transporte y concentrado de ingredientes activos en la piel”.²¹³ Aquellos cosméticos que contienen partículas nanoscópicas invisibles no han pasado desapercibidos en los informes europeos recientes acerca de los riesgos potenciales asociados con las nano partículas manufacturadas. Un informe de la Royal Society del Reino Unido, difundido en julio de 2004, hace notar lo escaso de los datos toxicológicos relativos a dichas partículas.²¹⁴ Dado que se usan en algunos cosméticos y filtros solares, el informe recomienda más estudios acerca de la penetración de la piel con partículas nanoscópicas y que la industria efectúe más estudios toxicológicos que se hagan del dominio público —lo que ocasionó algunas arrugas entre los funcionarios de L'Oréal.

Las compañías de alimentos y cosméticos colaboran ahora en el desarrollo de “suplementos nutricionales cosméticos”. L'Oréal y Nestlé formaron recientemente Laboratoires Innéov, una empresa de 50/50. El primer producto surgido de Innéov, llamado “Innéov Firmness”, contiene lycopeno. El suplemento se ingiere por vía oral y se comercializa entre mujeres de más de cuarenta años preocupadas por la pérdida de elasticidad en la piel.²¹⁵ Poco después de que Nestlé cimentara su colaboración con L'Oréal, Procter & Gamble y Olay anunciaron que crearían juntos dos líneas de suplementos nutricionales —uno para “la Belleza” y otro para “el Bienestar”.²¹⁶ Aunque estos suplementos no anuncian tener nano partículas, es difícil de saber pues no existen requisitos de etiquetado. En cualquier caso, las alianzas de las industrias de comestibles y cosméticos ilustran la tendencia a difuminar las fronteras entre la comida, las medicinas y los cosméticos, una tendencia que la nanotecnología habrá de acelerar.



3. RECOMENDACIONES

Los cultivos genéticamente modificados (GM) entraron al mercado hace menos de diez años sin que hubiera habido discusión pública alguna de sus riesgos y beneficios, y dentro de marcos regulatorios que las organizaciones de la sociedad civil habían descrito como inadecuados, poco transparentes o inexistentes. El resultado fue que siguen sin resolverse las cuestiones y controversias en torno a los impactos socio económicos, de salud y ambientales de estos alimentos GM, mientras millones de personas los rechazan. Es innegable el paralelismo entre la introducción de la biotecnología y la nanotecnología. Y pese a los persistentes compromisos de la comunidad nanotecnológica de no repetir los mismos torpes errores, va siguiendo los pasos de la biotecnología.

Al permitir que los productos nanotecnológicos entren al mercado sin que exista un debate público y una supervisión regulatoria, los gobiernos, las agro empresas y las instituciones científicas ya pusieron en entredicho el potencial de tecnologías nano escalares que pudieran usarse benéficamente. Que no se hayan fijado criterios en ninguna parte del mundo con los cuales evaluar los productos nano escalares a lo largo de la cadena alimentaria, representa una negligencia inaceptable y culpable. Dadas las vastas inquietudes generadas entre la sociedad civil por los alimentos GM, los residuos de los plaguicidas, las hormonas del crecimiento y la enfermedad de las “vacas locas”, los agricultores y los consumidores se abismarían de saber que los nuevos materiales nano escalares están ya en proceso de diseño o en el aparador. Deben darse pasos para restaurar la confianza en los sistemas alimentarios y asegurarnos de que las nanotecnologías, de ser introducidas, lo hagan con rigurosos criterios de salud y seguridad.

La recomendación más importante que hacemos es lograr que la sociedad se involucre plenamente en una vasta discusión sobre el papel de las tecnologías que convergen (a nano escala) en la alimentación y la agricultura. Cualquier esfuerzo por hacer a un lado la discusión o por asumirla tangencialmente

mediante una reunión de expertos, o por enfocar únicamente los aspectos de salud o ambientales de las nuevas tecnologías será un error, tanto para la sociedad como para los industriales que nos proponen estos cambios. A diferencia del debate en torno a los OGM, la discusión no debe confinarse a aspectos técnicos solamente. También deben ponerse sobre la mesa los aspectos de la propiedad intelectual y otras formas de monopolio tecnológico. ¿Quién controlará las tecnologías? ¿Quién tendrá el papel de decidir cómo afectan el futuro estas nanotecnologías?

Reconocer que los gobiernos están ya comprometidos por sus intrincadas relaciones con la agro industria y las empresas de nanotecnología, hace que el Grupo ETC exprese su primera y más importante recomendación ante la gente de la sociedad civil que comparte nuestras preocupaciones. Además, ofrecemos recomendaciones a los gobiernos y los organismos inter gubernamentales.

A la sociedad civil. Las ONG y los movimientos sociales comienzan a reconocer los impactos potenciales de las tecnologías que convergen a nivel nanométrico. Particularmente en las áreas de la alimentación y la agricultura, es urgente que la sociedad civil trabaje unida impulsando una discusión pública, lo más amplia que sea posible, en torno a las nuevas tecnologías nano escalares, asegurándose de que los planificadores den los pasos apropiados para salvaguardar la salud, el bienestar y el nivel de vida de los agricultores y los consumidores —y el bienestar del ambiente.

Específicamente:

- * Las organizaciones de pequeños productores deben comenzar a supervisar sus regiones y sus posibilidades de vida. Además de las discusiones internas y el debate, estas organizaciones deberían participar en discusiones con el resto de la sociedad civil y los gobiernos.
- * Las organizaciones de consumidores no sólo deberían supervisar las tecnologías nano

¿Qué clase de estrategia industrial —y tendremos que asumir que hasta cierto punto hubo estrategia— intentaría subrepticamente introducir productos al mercado que nadie necesita pero que todos tienen que consumir, que incluso el político más amigo de la industria tendrá dificultades en justificar y cuyos rasgos aparentemente más positivos son mejorar el mercado posicionando a las compañías que los producen?

Reflexiones sobre la introducción de la biotecnología agrícola, *Nature Biotechnology*, editorial de septiembre de 2004

Es urgente que la sociedad civil trabaje unida impulsando una discusión pública, lo más amplia que sea posible, en torno a las nuevas tecnologías nano escalares, asegurándose de que los planificadores den los pasos apropiados para salvaguardar la salud, el bienestar y el nivel de vida de los agricultores y los consumidores —y el bienestar del ambiente.

escalares, sino empaparse de la información relativa a los productos agrícolas y alimentarios y a los procesos que implican nanotecnología. Junto con las organizaciones ambientales, las organizaciones de consumidores deberían presionar políticamente a los gobiernos para que se creen los regímenes regulatorios apropiados para estas tecnologías, además de impulsar su debate público.

- * Las organizaciones ambientales deberían trabajar más de cerca con las organizaciones de agricultores y de pueblos indígenas para evaluar el impacto de las tecnologías nanométricas en el agro y en la diversidad biológica. En ausencia de las regulaciones apropiadas, no deben liberarse al ambiente los productos de las tecnologías nano escalares.

A los gobiernos. En el corto y mediano plazo, la acción debe llevarse al nivel nacional:

- * Los gobiernos nacionales deben establecer un régimen regulatorio *sui generis* diseñado de tal modo que responda a los particulares aspectos ambientales y de salud asociados con los materiales nano escalares usados en la alimentación y la agricultura.
- * En apego al Principio Precautorio, todos los productos relacionados con alimentos, forrajes y bebidas (incluidos los suplementos nutricionales) que incorporen nano partículas manufacturadas, deben ser retirados de los anaqueles hasta el momento en que entren en vigor los regímenes regulatorios que *sí tomen en cuenta las características especiales* de estos materiales, y hasta que se demuestre que dichos productos son seguros.
- * Debe prohibirse la liberación al ambiente de las formulaciones nano escalares de los insumos agrícolas, tales como plaguicidas, fertilizantes y tratamientos para suelos, en tanto no exista un nuevo régimen regulatorio, específicamente diseñado para examinar estos productos, que determine si están libres de riesgos.
- * Debe ponerse en vigor una moratoria inmediata a la experimentación en laborato-

rio y a la liberación ambiental de materiales de biología sintética hasta que la sociedad pueda involucrarse en un análisis profundo de sus implicaciones ambientales socio económicas y de salud.

A los organismos inter gubernamentales.

Con el fin de evitar vacíos o distorsiones en las regulaciones internacionales, los gobiernos deben trabajar juntos, a través de las agencias especializadas de Naciones Unidas para garantizar la salud y seguridad de trabajadores y consumidores; para garantizar la diversidad biológica y ambiental; y para asegurar el bienestar socio económico de la gente de todos los países. En particular:

- * La Organización Mundial de la Salud (OMS), y la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), deben asegurarse de actualizar el *Codex Alimentarius* para que tome en cuenta el uso de nano partículas y otras tecnologías nano escalares en la alimentación y la agricultura.
- * El Programa Ambiental de Naciones Unidas (UNEP por sus siglas en inglés) y el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), deben examinar los posibles impactos de la nanotecnología sobre la diversidad biológica y el ambiente.
- * La OMS debe emprender estudios de corto y largo plazo acerca de los efectos potenciales de la nanotecnología y las nano partículas sobre la salud de los investigadores, los obreros que las producen y los consumidores.
- * La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Educativa, Científica y Cultural de Naciones Unidas (mundialmente conocida por sus siglas en inglés, UNESCO) deben estudiar el posible impacto de las nano partículas y la nanotecnología sobre la mano de obra agrícola, la educación, y el bienestar económico de los países que en gran medida dependen de los productos de exportación agrícola.
- * La FAO y la Conferencia de Naciones Unidas para el Comercio y el Desarrollo (UNCTAD,

por sus siglas en inglés), deben estudiar los potenciales impactos de las nano partículas y la nanotecnología sobre la producción y el comercio, incluidos los cambios potenciales en las fuentes de producción y los precios.

- * La comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura de la FAO debe emprender un estudio inmediato del impacto potencial de las tecnologías nano escalares en la diversidad y genética animal y vegetal y su fortalecimiento.
- * UNESCO y FAO deben emprender estudios que determinen las implicaciones de las tecnologías nano escalares en la investigación agrícola y de alimentos en los países del Sur, con vistas a expresar recomendaciones acerca de las prioridades de la investigación nacional e internacional en materia agrícola.
- * La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, por sus siglas en inglés), debe explorar las implicaciones de la propiedad intelectual con respecto a los productos y procesos resultantes de la manipulación de los elementos de la tabla periódica, que puedan conducir a un monopolio o a distorsiones de los mercados agrícolas y de alimentos.
- * Naciones Unidas debe iniciar negociaciones tendientes a establecer una Convención Internacional para la Evaluación de Nuevas

Tecnologías (CIENT, o ICENT por sus siglas en inglés como empieza a conocerse esta propuesta a nivel internacional), para darle a los gobiernos y a la sociedad, por vez primera, un sistema de atención y alerta tempranas que permita que la sociedad y la ciencia se libren del ciclo de crisis que acompaña cada nueva introducción tecnológica.

El destino de las tecnologías convergentes en la nano escala se determinará en los próximos dos años. Actualmente, la industria y los gobiernos batallan por recobrase de serios tropezones que ponen en peligro el futuro de la nanotecnología. A fines de 2004, existen por lo menos tres iniciativas en camino, para crear “diálogos entre múltiples accionistas” que involucren a la sociedad civil, la industria y los gobiernos. No obstante, estos intentos fracasarán a menos que exista un compromiso claro de ir más allá de las organizaciones ambientales, involucrando movimientos sociales, del Sur y del Norte —especialmente pueblos indígenas, organizaciones de agricultores, sindicatos, el movimiento de los derechos de aquellos con capacidades diferentes, y las organizaciones de mujeres y consumidores. Por su parte, el Grupo ETC no participará en proceso de diálogo alguno que no incluya el amplio espectro de actores de la sociedad civil y que no impulse el más amplio debate social posible.

En apego al Principio Precautorio, todos los productos relacionados con alimentos, bebidas (incluidos los suplementos nutricionales) y forrajes, que incorporen nano partículas manufacturadas, deben ser retirados de los anaqueles hasta el momento en que entren en vigor los regímenes regulatorios que sí tomen en cuenta las características especiales de estos materiales, y hasta que se demuestre que los productos son seguros.

ANEXO 1: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN NANOTECNOLOGÍA: LAS EMPRESAS DE ALIMENTOS Y BEBIDAS MÁS GRANDES DEL MUNDO

Compañía	Ventas por alimentos y bebidas en millones de dólares (2003)*	Actividad relacionada con la nanotecnología, si se conoce
Nestlé (Suiza)	\$54 200	Apoya un grupo de investigación en nanotecnología para la alimentación; hay pocos detalles disponibles para el público.
Altria [Kraft Foods] (EUA)	\$29 700	Estableció el primer laboratorio de nanotecnología de la industria de la alimentación en 1999. Financia y patrocina al Nanotech Consortium, que hace investigación y desarrollo en “bebidas inteligentes” y nano cápsulas.
Unilever (Reino Unido y Países Bajos)	\$25 700	Realiza investigación y desarrollo en nano cápsulas. En 1997, Unilever formó una empresa de capital de riesgo compartido con la Universidad de Cambridge para constituir un centro de informática molecular en Cambridge (Unilever Cambridge for Molecular Informatics). En 2002, Unilever anunció que invertiría 30 millones de euros durante tres años en Unilever Technology Ventures, empresa con sede en Santa Mónica, California, para identificar e invertir en fondos dedicados a la tecnología y en compañías de innovación. Su objetivo sería enriquecer la investigación y desarrollo de Unilever explotando nuevas tecnologías, incluyendo genómica y nanotecnología.
PepsiCo (EUA)	\$25 100	Ocupa el cuarto lugar en la lista de las diez compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo.
Cargill (EUA)	\$20 500	Ocupa el séptimo lugar en la lista de las diez compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo. Está asociada con EcoSynthetix para desarrollar almidón de maíz nanométrico para empaques de cartón.
ConAgra (EUA)	\$19 800	Ocupa el octavo lugar en la lista de las diez compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo.
General Mills	\$10 500	Dedica entre 6 y 9 mil millones de dólares a la investigación y desarrollo en nanotecnología.**
Sara Lee	\$9 800	Ocupa el lugar 19 en la lista de las 100 compañías de alimentos y bebidas más grandes del mundo.
HJ Heinz	\$8 200	Investigación en saborizantes y colorantes para alimentos. El sector servicios relacionado con los comestibles está incorporando nanotecnología en sus “dispensadores inteligentes” y sus “comidas inteligentes”, y en el uso de nano materiales en el empaque.**

Helmut Kaiser Consultancy considera que las compañías de esta lista (con excepción de Dupont y Cargill) están involucradas activamente en investigación relacionada con nanotecnología de alimentos

* Fuente: “The World’s Top 100 Food and Beverage Companies”, *Food Engineering Magazine*, primero de noviembre de 2003.

** Fuente: Helmut Kaiser Consultancy.

Compañía	Ventas por alimentos y bebidas en millones de dólares (2003)*	Actividad relacionada con la nanotecnología, si se conoce
Campbell Soup (EUA)	\$6 700	Uno de sus objetivos es el mejoramiento del sabor.**
Maruha (Japón)	\$6 300	Es el primer productor de mariscos en Japón.
Associated British Foods (Reino Unido)	\$6 mil	Grupo de menudeo de comida internacional y producción de ingredientes con ventas anuales por 4 900 millones de libras.
Ajinomoto (Japón)	\$5 800	Su investigación y desarrollo nanotecnológicos se encamina a una mejor absorción y mejores sistemas de suministro de alimentos y fármacos.**
DuPont Food Industry Solutions (EUA)	\$5 500 (ventas de insumos agrícolas y alimentarios, fuente: DuPont).	Establecida en mayo de 2003, esta empresa es un socio estratégico de DuPont en alimentos, bebidas e ingredientes relacionados. DuPont realiza investigación en ingeniería de alimentos con base en el tamaño de las partículas en el Particle Size and Technology Research Group, con sede en Wilmington, Delaware. La compañía prefirió no brindar información detallada.
McCain Food (Canadá)	\$4 600	Corporación canadiense de alimentos, privada. En 2002, tuvo el séptimo lugar mundial en alimentos congelados.
Nippon Suisan Kaisha (Japón)	\$4 mil	Es la segunda firma de productos marinos más grande de Japón, sus operaciones pesqueras resultan en más del 45% por ciento de sus ventas.
Nichirei (Japón)	\$2 800	Es el principal productor de alimentos congelados de Japón.
BASF (Alemania)	5 021 millones de euros en ventas, en su división de productos agrícolas y de nutrición.	Las ventas anuales de BASF en el rubro de productos derivados de la nanotecnología alcanzan aproximadamente los 2 mil millones de euros. La mayoría de esas ventas no provienen de comestibles, aunque BASF vende carotenoides nano escalares como aditivos para alimentos.
Goodman Fielder	sin información	Es el fabricante de comestibles más grande de Australia.
John Lusty Group, PLC	sin información	Importador y distribuidor de comestibles con sede en el Reino Unido.
La Doria	sin información	Empresa italiana, uno de los líderes en el procesamiento productos derivados del tomate.
Northern Foods	sin información	Uno de los más grandes procesadores de alimentos en el Reino Unido.
United Foods	sin información	Empresa privada, productora y procesadora de vegetales, con sede en Estados Unidos.

** Fuente: Helmut Kaiser Consultancy.

ANEXO 2: PATENTES DE NANOTECNOLOGÍA PARA COMESTIBLES Y SU EMPACADO

Dueño de la patente y país de procedencia	Tipo de patente, número de solicitud o número de asignación; fecha de expedición o publicación	Extracto de su descripción
Atofina, Francia	Empaques WO04012998A3 12 de febrero de 2004	“Compuesto para empaque de comestibles, basado en resina aromática de vinil, que contiene un relleno mineral laminado en forma de nano partículas.”
Nutralease, Ltd., Israel	Suministro corporal (conocido en inglés como Bio Delivery) US20030232095A1 18 de diciembre de 2003	“Los concentrados nanométricos de la presente invención posibilitan de manera eficiente la solubilización, el transporte y la dilución de nutracéuticos, suplementos alimenticios, aditivos alimentarios, extractos de plantas, medicamentos, péptidos, proteínas o carbohidratos solubles en aceite, insolubles en aceite o solubles en agua. Por ello pueden usarse como vehículos eficientes para el transporte de materiales activos dentro del cuerpo humano.”
(Sin información)	Suministro corporal US20030152629A1 14 de agosto de 2003	“Sistema de liberación controlada que puede encapsular diferentes sabores, marcadores sensoriales o combinaciones de sabores e ingredientes activos; liberar múltiples ingredientes activos de manera consecutiva, uno después de otro. El sistema de suministro controlado es sustancialmente un polvo que fluye libremente, formado de nano esferas hidrofóbicas sólidas, encapsuladas en micro esferas sensibles a la humedad.”
Qingtian New Material Research & Development Co., China	Aditivo para alimentos CN1409966A 16 de abril de 2004	“Polvo antibacterial nanométrico que no decolora los alimentos. Contiene partículas de fosfato de circonio como transportador y componente activo antibacterial. Sus ventajas son su pequeña granulosis, un amplio espectro, alta compatibilidad, estabilidad y eficiencia antibacterial. Es atóxico.”
Pengcheng Vocational University, China	Empaque de comestibles CN1408746A 9 de abril de 2003	“Película plástica antibiótica para conservar la frescura. Su método para producirla.”
Henkel KommandiGesellschaft Auf Aktien, Düsseldorf, Alemania	Procesado de comestibles y suministro corporal US6204231 20 de marzo de 2003	“Álcali acuoso, cáustico, para limpieza en instalaciones de procesamiento de alimentos, que rinde un concentrado regenerado útil de manera directa en alimentos para animales, contiene hidróxido de potasio acuoso y opcionalmente otros álcalis, especialmente hidróxido de sodio.
(Sin información)	Suministro corporal US6197757 6 de marzo de 2001	“Partículas, especialmente micro partículas o nano partículas de monosacáridos y oligosacáridos eslabonados. El proceso de su preparación y compuestos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos donde se encuentren presentes.”
Kraft Foods	Suministro corporal EP1355537A1 29 del octubre de 2003	“Producción de cápsulas y partículas para el mejoramiento de productos alimentarios.”

Dueño de la patente y país de procedencia	Tipo de patente, número de solicitud o número de asignación; fecha de expedición o publicación	Extracto de su descripción
BASF	Suministro corporal, aditivo para alimentos US5891907 6 de abril de 1999	“Solubilizadores estables, acuosos, adecuados para la administración parenteral de carotenoides, vitaminas o derivados de vitaminas; en ellos el carotenoide y las vitaminas insolubles en agua están, con ayuda de un emulsificante no iónico, en su forma de solución micelar, siendo las micelas menores que 100 nm.”
BASF	Aditivo para alimentos US5968251 19 de octubre de 1999	“Preparaciones con carotenoides en la forma de polvos dispersables en agua fría, producidos al... preparar una solución molecular dispersable de un carotenoide, con o sin un emulsificante y/o un aceite comestible, en un solvente orgánico volátil, que se mezcla en agua a una temperatura elevada para después agregar una solución acuosa de un coloide protector, donde el componente hidrofílico solvente se transfiere a la fase acuosa, y la fase hidrofóbica del carotenoide resulta en una fase nano dispersa...”
Rohm and Haas	Suministro corporal EP1447074A2 18 de agosto de 2004	“Nano partículas poliméricas para productos de consumo. Nano partículas poliméricas eslabonadas con un diámetro de 1-10 nm, que contienen ingredientes para el cuidado de la piel e ingredientes alimentarios.”
Borealis Technology, Finlandia	Empaques WO04063267A1 29 de julio de 2004	“Artículo que comprende la composición de polímeros dilatados con rellenos nanométricos: artículo de polímero (por ejemplo película para empaques de alimentos), que comprende una composición de polímeros con matriz de polyolefina y relleno nanométrico disperso en la matriz.”
Cap-Solution, Nanoscience Ag, Alemania	Suministro corporal WO04030649A2 15 de abril de 2004	“Micro cápsulas o nano cápsulas que contienen un agente activo soluble en pequeñas cantidades de agua, útil para una liberación rápida de los fármacos administrados oralmente. Contiene una cubierta permeable con polyelectrolitos y contra-iones.”
University College, Dublin, National University of Ireland, Dublin	Aditivo para alimentos WO04016696A1 26 de febrero de 2004	“Método para la manufactura de micro partículas con diseños, comprende micro partículas inmovilizantes, incluyendo nano partículas, para ser labradas en la superficie de una membrana porosa, lo que da por resultado un material protector orgánico o inorgánico que puede adherirse a las superficies expuestas de dichas micro partículas... Las partículas con diseño producidas pueden usarse en un amplio rango de aplicaciones en salud, información y comunicación, y en ambientes sustentables. Sirven en habitaciones, vestido, energía, alimentación, transporte y seguridad.”
Rhodia Chimie, Boulougne-Billancourt Cedex, Francia	Suministro corporal WO03095085A1 20 de noviembre de 2003	“Dispersiones coloidales de nano partículas de fosfato de calcio y por lo menos una proteína. El tamaño de las nano partículas oscila entre los 50 y los 300 nm, siendo esférica la morfología de dichas nano partículas... La invención puede usarse en la alimentación, la cosmética, y para usos farmacológicos industriales.”

Dueño de la patente y país de procedencia	Tipo de patente, número de solicitud o número de asignación; fecha de expedición o publicación	Extracto de su descripción
Shanxi Coal Chemistry Institutes, Academia China de Ciencias, China	Empaques CN1454939A 12 de noviembre de 2003	“Método de preparación de gránulos de dióxido de titanio nanométricos, cuya superficie está cubierta con óxido de aluminio. El diámetro del grano del dióxido de titanio preparado, oscila entre 10-100 nm, su superficie está cubierta con una membrana de óxido de aluminio. El dióxido de titanio nanométrico cubierto con dióxido de aluminio tiene buenas propiedades de dispersión, puede instrumentar la dispersión de gránulos individuales, puede usarse como un excelente agente filtrante de rayos ultra violeta (UV) y puede usarse en los campos de la pintura, el caucho, las fibras, el recubrimiento de materiales, en protectores contra el sol, en tinta para impresiones y empaque de alimentos, etcétera.”
Gerold Lukowski, Jülich, Wolf-Dieter, Ulrike Lindenquist, Sabine Mundt	Aditivo para alimentos DE10310021A1 23 de octubre de 2003	“Micro o nano partículas de biomasa de organismos marinos ricos en lípidos, útiles como agentes activos para la farmacéutica o la cosmética, o como aditivos alimentarios, por ejemplo para evitar que las bacterias se adhieran a la piel o al tejido.”
Guan-Gzhou Institute of Chemistry, Academia China de Ciencias, China	Aditivo alimentario CN1448427A 15 de octubre de 2003	“Avicel (celulosa micro cristalina) nanométrica, dispersable en agua, su preparación y producto coloidal: el polvo micro cristalino de celulosa nanométrica es celulosa micro cristalina con modificación nanométrica en su superficie, con un coloide hidrofílico agregado en cantidad de 5-150 wt% y el tamaño de su grano oscila entre 6.3-100 nanómetros. Durante su preparación, el coloide hidrofílico se dispersa homogéneamente en un medio de celulosa micro cristalina con superficie modificada nanométrica. La mezcla se seca y se comprime. La celulosa micro cristalina nanométrica es fácil de dispersar en agua para formar coloide, que es homogéneo y con gran fuerza de adherencia, y mantiene el tamaño diminuto de la celulosa micro cristalina, de modo que tiene un campo amplio y particular de aplicación innovadora en producción de alimentos, medicina, elaboración de papel, textiles, preparación de nuevos materiales y otros campos.”
Zhang Liwen, China	Aditivos para alimentos, suministro corporal CN1439768A 3 de septiembre de 2003	“Polvo nanométrico de plumas, su procesamiento y utilización: un tipo de polvo nanoscópico de pelusa de pluma, usado como aditivo funcional y de cuidado de la salud en alimentos, piensos, cosméticos, medicina o fibras químicas. Es preparado a partir de la pelusa de pluma de pato, ganso y otros pájaros, mediante un lavado con agua, un filtrado y luego un pulverizado del plumaje, una inmersión en alcohol, un secado por centrifugación, oscilación en micro ondas, enfriado rápido, otro pulverizado a baja temperatura y un cernido final. Su ventaja es no perder componentes activos, una alta superficie de área específica, actividad molecular y afinidad con el cuerpo humano y un efecto de mayor cuidado a la salud.”

Dueño de la patente y país de procedencia	Tipo de patente, número de solicitud o número de asignación; fecha de expedición o publicación	Extracto de su descripción
Nano-Materials Technology Pte, Ltd., Singapore Beijing University of Chemical Technology	No se especifica el objeto wo03055804A1 10 de julio de 2003	“Carbonato de calcio de formas diversas que incluyen espigas, pétalos, filamentos, agujas, hojuelas, esferas y fibras. El carbonato de calcio tiene un tamaño promedio de partícula del orden de entre 10 nm y 2.5 micras y puede utilizarse en varios campos, como son el hule, los plásticos, la manufactura de papel, recubrimientos, materiales de construcción, tintas, pinturas, alimentos, medicina, industria química doméstica, textiles y piensos.”
Cellresin Technologies, Llc	Empaque us20030129403A1 10 de julio de 2003	“Material obstructor hecho con partículas de metal nanoscópico como recubrimiento laminado de plástico o materiales de empaque en contacto con alimentos, comprende partículas de zinc o un metal o aleación metálica de reacción semejante, dispersa en un material matriz.”
Bridgestone Corporation, Tokio, Japón	Aditivo de alimentos us6579929 17 de junio de 2003	“Sílice estabilizado y el método de preparación y uso del mismo: se procura una superficie estabilizada de sílice no aglomerado... en el orden del nanómetro. La superficie estabilizada de sílice no aglomerado puede usarse como aditivo en cualquier aplicación que requiera sílice, tal como los rellenos reforzantes en las composiciones elastoméricas, alimentos, fármacos, dentífricos, tintas, <i>toners</i> , recubrimientos y abrasivos.”
Solubest Ltd, Rehovot, Israel	Suministro corporal, aditivo en alimentos wo03028700A3 10 de abril de 2003	“Nano partículas de materiales activos hidrofílicos o hidrofóbicos solubles al agua: este invento proporciona un compuesto (lipofílico insoluble en agua) de nano partículas solubles que forman un núcleo o compuesto hidrofílico y un polímero anfifílico que ha demostrado mejor solubilidad y/o estabilidad. El compuesto lipofílico en el interior de las nano partículas solubles (“solu-nano partículas”) puede formar compuestos farmacéuticos, aditivos en alimentos, cosméticos, productos agrícolas y veterinarios.”
Central P BV, Naarden, Holanda	Suministro corporal wo03024583A1 27 de marzo de 2003	“Novedosos sistemas coloidales dispersables en la forma de nano partículas con usos médicos, biológicos, veterinarios, cosméticos y alimentarios, que incluyen nano partículas de calixareno modificado anfifilicamente.”
Wageningen Centre for Food Sciences, Wageningen, Holanda	Alimentos wo0301104A1 13 de febrero de 2003	“Novedoso proceso para preparar compuesto acuoso-gelatinoso. Dicho proceso emplea una proteína globular formadora de gel semejante a la proteína del suero, la ovo albúmina o la proteína de soya... La invención se relaciona también con los productos obtenibles con el proceso mencionado.”

Dueño de la patente y país de procedencia	Tipo de patente, número de solicitud o número de asignación; fecha de expedición o publicación	Extracto de su descripción
Universidad de Sevilla, Universidad de Málaga, España	Suministro corporal, aditivos en alimentos wo02060591A1 8 de agosto de 2002	“Dispositivo para producir flujos capilares de líquidos de múltiples componentes estacionarios, y cápsulas microscópicas y nanoscópicas, cuyo diámetro puede variar entre las decenas de nanómetros y los cientos de micras, y que conducen a un aerosol relativamente mono disperso de gotitas de múltiples componentes con carga eléctrica, generada por la ruptura de los flujos debida a la inestabilidad capilar. El dispositivo y el método pueden usarse en campos como la ciencia de materiales y en tecnología de alimentos, y donde quiera que la generación y el manejo controlado de flujos nanométricos y micrométricos sea parte esencial del proceso.”
Mars, Inc.	Aditivo de alimentos US5741505 21 de abril de 1998	“Un producto comestible recubierto que comprende... material comestible... y una cubierta continua, inorgánica en la superficie del material comestible, donde la dicha cubierta cubre por lo menos una porción del material comestible y la dicha cubierta tiene un grosor que va de 0.0001 a 0.5 micras.”
Globoasia, Llc, Hanover, Md	Conservador de alimentos US6379712 30 de abril de 2002	“El invento se relaciona con gránulos de plata nanométrica que combaten hongos y bacterias (conocidos en inglés como NAGs). Los NAGs tienen un efecto inhibitorio duradero sobre el amplio espectro de hongos y bacterias. Los NAGs pueden usarse en una variedad de productos industriales y de cuidado de la salud. Los ejemplos de los productos industriales incluyen, pero no se limitan, a conservadores de alimentos, desinfectantes de agua, desinfectantes de papel, materiales de relleno de construcción (para evitar la formación de moho).”
Cognis Deutschland GmbH, Düsseldorf, Alemania	Aditivo alimentario US6352737 5 de marzo de 2002	“El uso de esteroides nano escalares y/o éster-esterolados con diámetros de partícula de entre 10 y 300 nm como conservadores de alimentos y como sustancias activas en la producción de agentes hipocolesterolémicos. La finura singular de las partículas promueve que el suero de la sangre las absorba en forma más rápida después de la ingestión oral, en comparación de los esteroides y los éster-esterolados convencionales.”
Henkel KgaA, Düsseldorf, Alemania	Aditivo de alimentos DE10027948A1 10 de diciembre de 2001	“Producción de una suspensión de material derretible sin descomposición, usado en farmacéuticos, cosméticos y en la industria de alimentos, que comprende la preparación de una emulsión de dicho material, fase líquida y agente modificador de superficie, y luego enfriado.”

Dueño de la patente y país de procedencia	Tipo de patente, número de solicitud o número de asignación; fecha de expedición o publicación	Extracto de su descripción
Coletica, Lyons, Francia	Suministro corporal US6303150 16 de octubre de 2001	“Método de producción de nano cápsulas con paredes de proteína eslabonada, obteniendo compuestos alimentarios, cosméticos y farmacéuticos que hacen uso de las mismas.”
Lu Bingkun China	Empaque CN1298902A 13 de junio de 2001	“Proceso de preparación de plásticos antibacteriales para envases de alimentos y bebidas usando polvos antibacteriales nano escalares.”
Wolff Walsrode Ag, Alemania	Empaque DE19937117A1 8 de febrero de 2001	“Película, útil en el empaque de productos alimentarios, contiene por lo menos una capa de copolamida que comprende partículas nucleantes nano escalares dispersas en una proporción de 10-2000 ppm.”
Tetra Laval Holdings & Finance SA	Empaque US6117541 12 de septiembre de 2000	“Material de polyolefina integrado con partículas en fase nanoscópica: laminados de empaque usados en los envases de alimentos fluidos, por ejemplo leche o jugo —comprenden una capa de polyolefina entreverada con partículas de arcilla nanométrica, con propiedades obstructoras de gases.”
Sin información	Empaque US5946930 8 de febrero de 2001	“Envase auto refrescante de alimentos y bebidas, que utilizan fullerenos tubulares nanoscópicos.”

Notas

- ¹ IGD calcula que el mercado mundial de alimentos al menudeo es del orden de los 2.8 billones de dólares. Las estadísticas de la población total implicada en la agricultura y de las exportaciones agrícolas provienen de Jerry Buckland, *Ploughing Up the Farm*, Zed Books, 2004, p. 18 y p. 100.
- ² Según la cita de Philip Ball, “Nanotechnology Science’s Next Frontier or Just a Load of Bull?” *New Statesman*, 23 de junio de 2003; disponible en la red electrónica (10 de agosto de 2004) en http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0FQP/is_4643_132/ai_104520140
- ³ Helmut Kaiser Consultancy, “Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide”, estudio sin publicar, Tübingen, marzo de 2004, p. 35.
- ⁴ Anónimo, “Global Nanotechnology Market to reach \$29 billion in 2008”, Business Communications Company Inc., comunicado de prensa, 3 de febrero de 2004. Disponible en la red electrónica: <http://www.bccresearch.com/editors/RGB-290.html>
- ⁵ Pat Phibbs, “Nanotechnology Could Require Changes To Controls on Toxics, White House Says”, *Chemical Regulation Reporter*, volumen 28, núm. 1, 5 de abril 2004. Disponible en la red electrónica (24 de septiembre, 2004) en: <http://ehscenter.bna.com/pic2/ehs.nsf/id/BNAP-5XRG6K?OpenDocument>
- ⁶ National Science Foundation/Department of Commerce. Informe Conjunto. Disponible en la red electrónica en http://wtcc.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf
- ⁷ Ver: Alfred Nordmann, Relator, “Converging Technologies-Shaping the Future of European Societies”, agosto de 2004. Disponible en la red electrónica (28 de septiembre de 2004): http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/pdf/final_report_en.pdf
- ⁸ *Ibid.*, p. 2.
- ⁹ *Ibid.*, p. 4.
- ¹⁰ *Ibid.*, p. 3.
- ¹¹ Ver el comunicado del Grupo ETC, “The Strategy for Converging Technologies: The Little BANG Theory”, marzo/abril de 2003, núm 78. Disponible en la red electrónica en <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=378>
- ¹² Comentario de Vicki L. Colvin, directora del centro de nanotecnología biológica ambiental de Rice University, durante el seminario Nano-Vision 2014, llevado a cabo el 15 de septiembre en St Gallen, Suiza.
- ¹³ Ver, por ejemplo “Ten Toxic Warnings”, en ETCGroup “Nano’s Troubled Waters”, *Genotypes*, primero de abril de 2004, pp. 3-4. Disponible en la red electrónica: <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=445>
- ¹⁴ Eva Oberdörster, “Manufactured Nanomaterials (Fullerenes C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Large-mouth Bass”, *Environmental Health Perspectives*, volumen 112, número 10, julio de 2004.
- ¹⁵ Haum, Petschow, Steinfeldt, “Nanotechnology and Regulation within the Framework of the Precautary Principle. Final Report for ITRE Committee of the European Parliament”, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH, Berlín, 11 de febrero de 2004, p. 38.
- ¹⁶ *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research, Research, Education and Extension Service*, con base en un taller nacional de planeación llevado a cabo los días 18 y 19 de noviembre de 2002, Washington DC, septiembre de 2003. Disponible en la red electrónica: www.nseafs.cornell.edu
- ¹⁷ McKnight, TE, *et al.*, “Intracellular Integration of Synthetic Nanostructures with Viable Cells for Controlled Biochemical Manipulation”. *Nanotechnology* 14, pp. 531-556 (9 de abril de 2003). Ver también “Nanofibres Deliver DNA to Cells”, Genome News Network, http://www.genome-newsnetwork.org/articles/06_03/nano.shtml
- ¹⁸ Kate Dalke, “Inside Information: Nanofibres Deliver DNA to Cells”, 13 de junio de 2003, Genome News Network, http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06_03/nano.shtml
- ¹⁹ Para obtener más detalles relativos a la toxicidad de los nano tubos y nano fibras de carbono véase ETC Group, “Size Matters—the Case for a Global Moratorium”, abril de 2003. Disponible en la red electrónica: www.etcgroup.org/article.asp?newsid=392
- ²⁰ Lux Research, *Nanotech Report 2004*, vol. 1, p. 96.
- ²¹ Boletín de prensa del Grupo ETC, “Atomically Modified Rice in Asia?”, 25 de marzo de 2004. Disponible en la red electrónica: www.etcgroup.org/article.asp?newsid=444
- ²² Ranjana Wangvipula, “Thailand Embarks on the Nano Path to Better the Rice and Silk”, *Bangkok Post*, 21 de enero de 2004. Disponible en la red electrónica: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7266
- ²³ Comunicación personal con Witoon Lianchamroon de Biothai, 25 de marzo de 2004. Witoon habló por teléfono con el doctor Thirapat Vilaithong y otros científicos del Fast Neutron Research Facility de Chiang Mai.
- ²⁴ *Ibid.*
- ²⁵ Ranjana Wangvipula, *op cit*, ver nota 22.
- ²⁶ Boletín de prensa del Grupo ETC, “Atomically Modified Rice in Asia?”, ver nota 21.
- ²⁷ Correspondencia electrónica con Carolin Kranz, BASF, 27 de octubre de 2004.
- ²⁸ wo03039249A3: “Nanoparticles Comprising a Crop Protection Agent” [nano partículas que conforman un agente protector de cultivos].
- ²⁹ Ver la solicitud de patente estadounidense número 20040132621, “Microemulsion Concentrates” [concentrados de micro emulsión], de Bayer Crop Science.
- ³⁰ Ver por ejemplo: http://www.engageagro.com/media/pdf/brochure/primomaxx_10pgbrochure_english.pdf
- ³¹ Ver el folleto del Banner MAXX de Syngenta en la red electrónica: http://www.engageagro.com/media/pdf/brochure/bannermaxx_brochure_english.pdf
- ³² *Ibid.*
- ³³ Correspondencia electrónica con Barbara Karn, de EPA, primero de noviembre de 2004.
- ³⁴ *Ibid.*

- ³⁵ *Ibid.*
- ³⁶ Syngenta, “A Microscopic Formula for Success”, en el sitio electrónico de Syngenta: http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx
- ³⁷ Janet Morrisey, “Flamel Tech Shares Up 46% on Pact with Monsanto”, *Dow Jones*, 6 de enero de 1998. Disponible en la red electrónica con fecha 22 de septiembre de 2004 en: <http://www.pmac.net/patent.htm>
- ³⁸ Syngenta, “A Microscopic Formula for Success”, *op cit*, ver nota 36.
- ³⁹ *Ibid.*
- ⁴⁰ Patente estadounidense de Syngenta número 6 544 540, “Base-triggered Release Microcapsules” [microcápsulas con liberación controlada por bases].
- ⁴¹ Syngenta, “A Microscopic Formula for Success”, *op cit*, ver nota 36.
- ⁴² La patente propiedad de Syngenta WO194001A2, se relaciona con cápsulas nanoscópicas y microscópicas para agro químicos.
- ⁴³ Rolf Daniels, “Galenic Principles of Modern Skin Care Products”, *Skin Care Forum* 25. Disponible en la red electrónica: http://www.scf-online.com/english/25_elgalenic_25-e.htm#Nanoemulsions
- ⁴⁴ Eric J. Lerner, “Nano is now at Michigan and James Baker is Leading the Way”, *Medicine at Michigan*, vol. 2, núm. 2, verano de 2000. Disponible en la red electrónica: <http://www.medicineatmichigan.org/magazine/2000/summer/nanonman/default.asp>
- ⁴⁵ Ver por ejemplo la patente EP1037527B1: “Microcapsules with Readily Adjustable Release Rates” [micro cápsulas con tasas de liberación ajustables].
- ⁴⁶ Ver en la red electrónica, por ejemplo, los detalles de las micro cápsulas del Zeon de Syngenta: http://www.syngenta.com/en/products_services/karate_page.aspx
- ⁴⁷ Ver por ejemplo el boletín de prensa de la Universidad de Missouri: “Designing Smarter Smart Drugs: MU chemist’s Nanocapsule Could Revolutionize Drug Delivery”, primero de julio de 2002.
- ⁴⁸ Ver la solicitud de patente estadounidense número 20040105877, “Controlled Release Pesticidal Composition and Method of Making” [composición de un plaguicida con liberación controlada y su método de fabricación], Hargrove, Garrard L *et al.*, 3 de junio de 2004.
- ⁴⁹ Ver por ejemplo la patente estadounidense 6 200 598, “Temperature-sensitive Liposomal Formulation” [formulación liposómica sensible a la temperatura], Duke University, 2001.
- ⁵⁰ Ver la solicitud de patente estadounidense US20020037306A1, presentada por Syngenta: Base-triggered Release Microcapsules, 2002 *op cit*, nota 40.
- ⁵¹ Donación estadounidense (USDA Grant) 2002-00349, “Development of an Ultrasound-mediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish” [desarrollo de un sistema de suministro mediado por ultrasonido para la inmunización masiva de peces].
- ⁵² Ver, por ejemplo, la solicitud de patente número WO9959556A1, “Externally Triggered Microcapsules” [micro cápsulas activadas externamente], de la NASA/ Johnson Space Center.
- ⁵³ Ver Donación estadounidense (USDA Grant) 2002-00349, *op cit*, en la nota 51.
- ⁵⁴ Syngenta, “A Microscopic Formula for Success”, *op cit*, ver nota 36.
- ⁵⁵ Malcolm T Sandford, “Protecting Honey Bees from Pesticides”, Circular 534. Entomology and Nematology Department. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Fecha original de publicación, 25 de abril de 1993, revisado el primero de mayo de 2003. En la red electrónica ver: http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_AA145#FOOTNOTE_1
- ⁵⁶ James B Petro, Theodore R Plasse y Jack A McNulty, “Biotechnology: Impact on Biological Warfare and Biodefense”, *Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice and Science*, volumen 1, número 3, 2003, p. 164. Disponible en la red electrónica (con fecha de 20 de septiembre de 2004): http://www.biosecurityjournal.com/PDFS/v1n303/p161_s.pdf
- ⁵⁷ The Sunshine Project, Backrounder#13, enero de 2004, “Export Controls: Impediments to Technology Transfer Under the Convention on Biological Diversity”. Disponible en la red electrónica: <http://www.sunshine-project.org>
- ⁵⁸ Yvon G Durant, doctor del laboratorio de polímeros avanzados de la Universidad de New Hampshire, “White Paper: Delivery of Chemicals by Microcapsules”, preparado para el US Marine Corps, disponible en el sitio de The Sunshine Project: <http://www.sunshine-project.org/incapacitants/jnlwdpdf/>
- ⁵⁹ Jim Barlow, “Remote-Sensing Lab Aims to Foster Growth of Precision Farming”, boletín de prensa de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, 2 de mayo de 2001. Disponible en la red electrónica: <http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html>
- ⁶⁰ Kurt Lawton, “In the Year 2013”, *Farm Industry News*, 1, marzo de 2003.
- ⁶¹ Versión preliminar de *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research, Education and Extension Service*, con base en un taller nacional de planeación, noviembre 18-19, 2002, Washington DC, septiembre de 2003; este borrador es la revisión B del 14 de febrero de 2003. En la versión final la “Tecnología del Hermanito” se menciona como “sistema de conservación de identidad”.
- ⁶² <http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html>
- ⁶³ Michael Kanellos, “Intel Produces Chips for Next Generation”, 24 de noviembre de 2003, disponible en la red electrónica en: http://news.zdnet.com/2100-9584_22-5111327.html
- ⁶⁴ Documento de Intel, “The Promise of Wireless Sensors”, disponible en la red electrónica: ftp://download.intel.com/research/exploratory/Promise_of_Wireless_Sensor_Networks.pdf
- ⁶⁵ Gerry Blackwell, “The Wireless Winery”, 23 de septiembre, 2004, disponible en la red electrónica: www.wi-fiplanet.com/columns/article.php/3412061
- ⁶⁶ Documento anónimo de Intel, “New Computing Frontiers-The Wireless Vineyard”, disponible en la red electrónica: <http://www.intel.com/labs/features/rs01031.htm>
- ⁶⁷ Ver la página electrónica de Kris Pister relativa al polvo inteligente: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/in2010>

- ⁶⁸ Boletín de prensa de ONWorld, “Wireless Sensor Networks: A Mass Market Opportunity”, 4 de marzo de 2004. En la red electrónica: www.emediawire.com/releases/2004/3/emw108651.htm
- ⁶⁹ Frank Munger, “ORNL Tests Early-warning System for Hazardous-substance Attacks”, 12 de abril de 2004, www.sensornet.gov
- ⁷⁰ Stephen J Bigelow, “Microscopic Monitors: A New Breed of Wireless Sensors can Bring Senses to Networks”, *Processor*, 16 de julio de 2004, vol. 26, número 29. Disponible en la red: <http://www.processor.com>
- ⁷¹ *Ibid.*
- ⁷² Karen F Schmidt, “Smart Dust is a Way Cool”, *us News & World Report*, 16 de febrero de 2004. En la red electrónica: www.usnews.com
- ⁷³ Brendan I Koerner, “Intel’s Tiny Hope for the Future”, *Wired*, número 11, 12 de diciembre de 2003.
- ⁷⁴ David E Culler y Hans Mulder, “Smart Sensors to Network the World”, *Scientific American*, junio de 2004, www.scientificamerican.com
- ⁷⁵ Quentin Hardy, “Sensing Opportunity”, *Forbes Magazine*, septiembre de 2003.
- ⁷⁶ Chris Taylor, “What Dust can Tell You”, *Time*, 12 de enero de 2004. Ver también Barbara G Goode, “A Sure Thing for Homeland Security”, Sensormag.com, junio de 2004.
- ⁷⁷ Con base en la revisión histórica de Kevin Binfield contenida en *Writings of the Luddites*, Baltimore y Londres: The Johns Hopkins University Press, 2004. Este fragmento está disponible en la red electrónica, con fecha del 29 de septiembre de 2004: <http://campus.murraystate.edu/academic/faculty/kevin.binfield/luddites/LudditeHistory.htm>
- ⁷⁸ Michael D Mehta, “Privacy vs Surveillance —How to Avoid a Nano-panoptic Future”, *Canadian Chemical News*, noviembre-diciembre de 2002, pp. 31-33.
- ⁷⁹ Royal Society and Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, julio de 2004, p. 53. Disponible en la red: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
- ⁸⁰ Lux Research Inc., *Nanotech Report 2004*.
- ⁸¹ UNCTAD, *Commodity Yearbook 2003*. Disponible en la red electrónica: <http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/indexen.htm>
- ⁸² Steve Waite, “Ross’ Nano Gambit”, 14 de agosto de 2003, *Forbes/Wolfe blog*, en la red: <http://www.forbeswolfe.com/archives/000063.html>
- ⁸³ Candace Stuart, “Nano-Tex Markets Brand to Become ‘Intel Inside’ of Nanomaterials”, *Small Times*, 2002, <http://www.smalltimes.com>
- ⁸⁴ International Cotton Advisory Committee, Washington DC, <http://www.icac.org>
- ⁸⁵ Gérald Estur, “Cotton: Commodity Profile”, International Cotton Advisory Committee, Washington DC, junio de 2004, pp. 1-2. Disponible en la red electrónica (con fecha del 20 de septiembre de 2004): http://www.icac.org/icac/cotton_info/speeches/english/english.html
- ⁸⁶ Jessica Gorman, “Super Fibres: Nanotubes make Tough Threads”, *Science News*, 14 de junio de 2003, vol. 163, núm. 24, p. 372.
- ⁸⁷ US Department of Commerce, National Textile Center, Project M03-CL07s, “Functional Fabric with Embedded Nanotubes Actuators/Sensors”, en la red: <http://mse.clemson.edu/htm/research/ntc/M03-CL07s-A3.pdf>
- ⁸⁸ Rossari Biotech, “Nanotechnology: the new Buzzword II”, 26 de agosto de 2004, <http://www.expresstextile.com/20040826/performancefabrics02.shtml>
- ⁸⁹ International Rubber Study Group, “Rubber Industry Report”, vol. 3, núm 12, junio de 2004, en la red: <http://www.rubberstudy.com/report.aspx>
- ⁹⁰ Wayne Arnold, “In Thailand, High Hopes for its Rubber Industry”, *New York Times*, 26 de febrero de 2004.
- ⁹¹ *Ibid.*
- ⁹² Mongabay.com, “A Brief History of Rubber”, en la red: <http://www.mongabay.com/10rubber.htm>
- ⁹³ Boletín de prensa de Rubber Manufacturers Association (EU): “Predicted Growth of Tread Rubber Shipments to Continue”, Washington DC, 19 de marzo de 2004.
- ⁹⁴ Jim Hurd, *Silicon Valley Nano Report 1*, junio de 2004, en la red electrónica: <http://www.nanosig.org/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=12>
- ⁹⁵ Jack Mason, “Nanocomposites in Tennis Balls Lock in Air, Build Better Bounce”, *Small Times*, en línea, 29 de enero de 2002. En la red electrónica: www.smalltimes.com
- ⁹⁶ Anónimo, “Aerogels: Solid Smoke May Have Many Uses”, *Space Daily*, 5 de abril de 2004, <http://www.spacedaily.com/news/materials-04q.html>
- ⁹⁷ Boletín de prensa, “New Lightweight Materials may Yield Safer Buildings, Long-lasting Tires: Aerogels”, American Chemical Society, 12 de septiembre de 2002.
- ⁹⁸ Patente estadounidense número 6 527 022, “Pneumatic Tire having a Tread containing a Metal Oxide Aerogel” [lanta neumática con areogel de óxido metálico], 4 de marzo de 2003.
- ⁹⁹ Tire Business, *Global Tire Report*, septiembre de 2002.
- ¹⁰⁰ Athene Donald, “Food for Thought”, *Nature Materials*, vol. 3, septiembre de 2004, pp. 579-581.
- ¹⁰¹ *Ibid.*, p. 580.
- ¹⁰² Jenny Hogan, “10-metre Nanotube Thread Pulled from Furnace”, *New Scientist*, 11 de marzo de 2004. <http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99994769>
- ¹⁰³ Anónimo, “Waste Fiber can be Recycled into Valuable Products using New Technique of Electrospinning, Cornell Researchers Report”, *Cornell News*, 10 de septiembre de 2003. www.cornell.news.edu
- ¹⁰⁴ *Ibid.*
- ¹⁰⁵ Anónimo, Inteletex News, “Solvent Solutions”, *Future Materials*, diciembre de 2003, en la red: <http://www.inteletex.com/FeatureDetail.asp?Publ=&NewsId=2469>
- ¹⁰⁶ Liz Kalaugher, “Alfalfa plantas Harvest Gold Nanoparticles”, *Nanotechweb*, 16 de agosto de 2002, en la red electrónica: <http://nanotechweb.org/articles/news/1/8/14/1>
- ¹⁰⁷ Peter N Spotts, “No Fairy Tale; Researchers Spin Straw into Gold”, *The Christian Science Monitor*, 29 de agosto de 2002. En la red electrónica: www.csmonitor.com/2002/0829/p02s02-usgn.htm
- ¹⁰⁸ *Ibid.*

- ¹⁰⁹ *Ibid.*
- ¹¹⁰ Danny Penman, "Geraniums the Key to Cheap Nanoparticles", *New Scientist*, 16 de junio de 2003.
- ¹¹¹ Greg Lavine, "Buckyballs Boost Fertilizer", *Salt Lake Tribune*, 23 de marzo de 2004, p.D1.
- ¹¹² Patente WIPO, WO03059070A1, "The Liquid Composition for Promoting Plant Growth, which Includes Nano-particle Titanium Dioxide" [la composición líquida para promover el crecimiento de plantas, que incluye nano partículas de dióxido de titanio], concedida a Choi, Kwang-Soo.
- ¹¹³ AM Prochorov *et al.*, "The Influence of Very Minute Doses of Nano-disperse Iron on Seed Germination", presentación en la novena conferencia Foresight on Molecular Nanotechnology, 2001.
- ¹¹⁴ Grupo ETC, "Mulch ado about nothing?... Or the 'Sand Witch?'", comunicado de ETC, septiembre/octubre, 2003. Disponible en la red electrónica: <http://www.etcgroup.org>
- ¹¹⁵ Boletín de prensa, "Nanoscale Iron Could Help Cleanse the Environment; Ultrafine Particles Flow Underground And Destroy Toxic Compounds In Place", National Science Foundation, 4 de septiembre de 2003.
- ¹¹⁶ Andrew Scott, "The Human Genome on a Chip", *The Scientist*, 3 de octubre, 2003. En la red: <http://www.biomedcentral.com/news/2001003/07>
- ¹¹⁷ International Consortium on Ticks and Tick-borne Diseases (ICTD)/EMBO, "Integrated Molecular Diagnostics for Tick-borne Pathogens using RLB Hybridization and Micro-array Based Biochips", 27 de octubre de 2003, University of Pretoria, Department of Veterinary Tropical Diseases, Ondestepoort, South Africa.
- ¹¹⁸ Affymetrics, Inc., United States Security and Exchange Commission Form 10-K, 31 de diciembre de 2003, disponible en la red electrónica: http://media.corporate-ir.net/media_files/nsd/affx/presentations/affx_10k1.pdf
- ¹¹⁹ Kyle James, "Increasing Demand for Microfluidics Leads to Market Optimism", 28 de abril de 2004, http://www.smalltimes.com/document_display.cmf?document_id=7777
- ¹²⁰ Charles Choi, "Holograms to Sort, Steer Nanotubes, Cells", United Press International, 3 de marzo de 2004. Ver también, Bill Snow, "Commercializing Killer Technology-Arryx", 29 de julio de 2003, en la red: www.billsnow.com/Articles_Snow_vc101_2003_07_29_Commercializing_Killer_TechnologyArryx.htm
- ¹²¹ Anónimo, "Advanced Reproduction: Microfluidic Engineering Mimics Nature to Streamline Assisted Reproduction", *University of Illinois Emerging Technologies*, Office of the Vice President for Economic Development, sin fecha; en la red electrónica: http://www.vpted.uillinois.edu/~pdf_files/i-emerging%20pdfs/Advanced%20Reproduction.pdf
- ¹²² Resumen de κ Jane, *Biochips and Microarrays*, noviembre de 2000, en la red electrónica: www.urchpublishing.com
- ¹²³ Anónimo, "Nanoshells Cancer Treatment Proves Effective in First Animal Test: Laser Treatments Eradicate All Tumors from Mice in Trial", *Rice University Press Release*, 21 de junio de 2004; disponible en la red electrónica (con fecha de 8 de octubre de 2004): <http://media.rice.edu/media/Newsbot.asp?MODE=VIEW&CID=4469&SnID+698963046>
- ¹²⁴ Lux Research, *Nanotech Report 2004*, vol. 1, p. 200.
- ¹²⁵ *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research*, Research, Education and Extension Service, con base en un taller nacional de planeación, noviembre 18-19, 2002, Washington DC, septiembre de 2003, p. 9. Disponible en la red electrónica: www.nseafs.cornell.edu
- ¹²⁶ Anónimo, "pSivida Granted US Patent for Viosilicon", 4 de agosto de 2004, <http://www.azonano.com/news.asp?newsID=258>
- ¹²⁷ Ver "Adhesin-Specific Nanoparticles", en la red electrónica: <http://www.clemson.edu/research/ottSite/techs/nopatent/00237.htm>
- ¹²⁸ Entrevista telefónica con el doctor Robert Latour, Clemson University, 13 de septiembre de 2004.
- ¹²⁹ Barnaby J Feder y Tom Zeller, Jr, "Identity Badge Worn Under Skin Approved for Use in Health Care", *New York Times*, 14 de octubre de 2004.
- ¹³⁰ FAO, "State of the World's Fisheries and Aquaculture 2002", Part 1, Overview, 2002.
- ¹³¹ Anónimo, "Altair Nanotechnologies' Algae Prevention Treatment Confirmed Effective in Testing", boletín de prensa de Altair, 11 de marzo de 2004.
- ¹³² Anónimo, "Altair Nanotechnologies Files Patent on NanoCheck Algae Preventer for Prevention of Algae in Swimming Pools", boletín de prensa de Altair, 16 de diciembre de 2002.
- ¹³³ USDA Grant 2002-00349, "Development of an Ultrasound-mediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish", *op cit*, ver nota 51.
- ¹³⁴ Prochorov AM, Pavlov GV, Okpattah GAC, Kaetanovich AV, "The effect of Nano-disperse Form of Iron on the Biological Parameters of Fish", presentado en la décima conferencia Foresight on Molecular Nanotechnology, Bethesda, EUA, , octubre de 2002.
- ¹³⁵ Rodney Brooks, "The Cell Hijackers", *Technology Review*, junio de 2004, p. 31. En la red electrónica: <http://www.technologyreview.com>
- ¹³⁶ Anónimo, "Building Blocks for Biobots", Berkeley Lab, *Science Beat Magazine*, 27 de agosto de 2004. Disponible en la red electrónica: http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sb/Aug-2004/2_biobots.html
- ¹³⁷ W Wayt Gibbs, "Synthetic Life", *Scientific American*, 26 de abril de 2004. En la red electrónica: http://www.sciam.com/print_version.cfm?articleID=0009FCA4-1A8F-1085-94F483414B7F0000
- ¹³⁸ *Ibid.*
- ¹³⁹ Anónimo, "Building Blocks for Biobots", Berkeley Lab, *Science Beat Magazine*, *op cit*, ver nota 136.
- ¹⁴⁰ Hutchison es citado en un artículo de Steve Mitchell, "Scientists to Synthesize New Life Form", United Press International, 21 de noviembre de 2002. Disponible en la red electrónica: <http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=20021121-044419-1997r>
- ¹⁴¹ Boletín de prensa del departamento de Energía estadounidense, "Researchers Funded by DOE 'Genomes to Life' Program Achieve Important Advance...," 13 de noviembre de 2003, <http://energy.gov>

- ¹⁴² James Shreeve, "Craig Venter's Epic Voyage of Discovery", *Wired*, agosto de 2004, p. 151.
- ¹⁴³ Ver comunicado del Grupo ETC, "Nanotech Un-goood!" Julio/agosto de 2003, disponible en la red electrónica: <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=399>.
- ¹⁴⁴ Steven Benner, citado en "Evolving Artificial DNA?", *Astrobiology Magazine*, 27 de febrero de 2004. Disponible en la red con fecha del 20 de septiembre de 2004: <http://www.astrobio.net/news/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=845>
- ¹⁴⁵ *Ibid.*
- ¹⁴⁶ Benner está citado en un artículo de Philip Ball, "Synthetic Biology: Starting from Scratch", *Nature* 431, pp. 624-626, 7 de octubre de 2004. <http://www.nature.com>
- ¹⁴⁷ Philip Ball, "Synthetic Biology: Starting from Scratch", *op cit.*
- ¹⁴⁸ Anónimo, "Futures of Artificial Life", *Nature*, vol. 431, 7 de octubre de 2004, p. 613.
- ¹⁴⁹ Susan Wright, *Molecular Politics: Developing American and British Regulatory Policy for Genetic Engineering, 1972-1982*, Chicago: University of Chicago Press, 1994.
- ¹⁵⁰ *Ibid.*, p. 151.
- ¹⁵¹ James Wilson y Rebecca Willis, *See-Through Science: Why Public Engagement Needs to Move Upstream*, Demos, 2004.
- ¹⁵² Carmen I Moraru *et al.*, "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science", *Food Technology*, diciembre de 2003, vol. 57, núm. 12, p. 25.
- ¹⁵³ Entrevista telefónica con Jozef Kokini, jefe del centro de tecnología avanzada de alimentos de Rutgers University, 14 de septiembre de 2004.
- ¹⁵⁴ Helmut Kaiser Consultancy, "Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide", estudio sin publicar, Tübingen, marzo de 2004, p. 35.
- ¹⁵⁵ *Ibid.*
- ¹⁵⁶ Entrevista telefónica con Raphael Mannino, 8 de septiembre de 2004.
- ¹⁵⁷ *Ibid.*
- ¹⁵⁸ Carmen I Moraru *et al.*, "Nanotechnology: A new Frontier in Food Science", *op cit.*, ver nota 152.
- ¹⁵⁹ Los términos "manufactura molecular" y "nanotecnología molecular" se refieren a un método para crear productos mediante herramientas moleculares, que permiten un control, molécula a molécula, de los productos y los productos colaterales a través de la síntesis química posicional, una visión nanotecnológica elaborada por κ Eric Drexler en *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, 1990.
- ¹⁶⁰ Ver por ejemplo, cs Prakash, Gregory Conko, "Technology That Will Save Billions From Starvation", *The American Enterprise Online* (publicado en *Biotech Bounty*, marzo de 2004); disponible en la red electrónica en http://www.taemag.com/issues/articleid.17897/article_detail.asp (con fecha de 19 de agosto de 2004).
- ¹⁶¹ Wendy Wolfson, "Lab-Grown Steaks Nearing the Menu", *New Scientist*, 30 de diciembre de 2002. En la red electrónica: www.newscientist.com
- ¹⁶² Kevin P Phillips, *Wealth and Democracy*, Nueva York, Broadway Books, 2002, p. 52.
- ¹⁶³ Lublin, JS, "A Lab's Troubles Raise Doubts about Quality of Drug Tests in us", *The Wall Street Journal*, 21 de febrero de 1978, p. 1.
- ¹⁶⁴ Cass Peterson, "Panel Told Many Pesticides Tested by Discredited Lab Are in Use", *Washington Post*, 28 de julio de 1983, p. A3.
- ¹⁶⁵ Theo Colburn, Dianne Dumanoski y John Peterson Myers, *Our Stolen Future*, Plume Books, 1997.
- ¹⁶⁶ *Ibid.*
- ¹⁶⁷ Anónimo, "us Market for Smart Packaging to Surpass \$54 Billion by 2008", *Packaging Digest*, mayo de 2004. En la red electrónica: http://www.packagingdigest.com/newsite/Online/online_exclusive8.php
- ¹⁶⁸ Carmen I Moraru *et al.*, "Nanotechnology: A new Frontier in Food Science", *op cit.*, p. 26.
- ¹⁶⁹ Jack Uldrich, "Now You See It...", *Advantage*, febrero de 2004, pp. 22-27. Disponible en la red electrónica: <http://www.fmi.org/advantage/issues/022004/pdfs/pub/nowyouseeit.pdf>
- ¹⁷⁰ *Ibid.*
- ¹⁷¹ Presentación de Del Stark, del Instituto de Nanotecnología, "Nanotechnology Today: Real Life Examples of Nano Applications", en la conferencia "Future of Nanomaterials", 29 de junio de 2004.
- ¹⁷² Elizabeth Gardner, "Brainy Food: Academia, Industry Sink their Teeth into Edible Nano", *Small Times*, 21 de junio de 2002.
- ¹⁷³ Presentación de Graham Moore, de Pira International, "What Does Nanotechnology Mean For You?", en la conferencia "Future Nanomaterials", 29 de junio de 2004.
- ¹⁷⁴ Bruce Goldbarb, "Food-borne Pathogens Stimulating Microarray-based Biosensor Development", *Nanobiotech News*, vol. 1, núm. 19, 10 de diciembre de 2003.
- ¹⁷⁵ *Ibid.*
- ¹⁷⁶ *Ibid.*
- ¹⁷⁷ Este es el lema de los laboratorios Auto-ID, una federación de seis universidades involucradas en esta investigación en Estados Unidos, Europa, Asia y Australia —fundada en 1999 para desarrollar una arquitectura estándar, abierta, para crear una red global continua de objetos físicos. En la red electrónica: <http://www.autoidlabs.org/aboutthelabs.html>
- ¹⁷⁸ Ver <http://www.mindfully.org/Technology/2003/Wal-MartREID4jun03.htm>
- ¹⁷⁹ Entrevista con Michael Natan, director de Nanoplex Technologies, realizada por Pamela Bailey, disponible en la red electrónica (11 de agosto de 2004): <http://news.nanoapex.com/modules.php?name=Content&pa=shownpage&pid=14>
- ¹⁸⁰ Presentación a cargo de Michael Natan, director de Nanoplex, "Nanotechnology to Track and Protect Packs", en la conferencia "Future of Nanomaterials", 29 de junio de 2004.
- ¹⁸¹ El primero en usar una frase semejante fue el doctor Heribert Watzke, jefe de ciencia alimentaria de Nestlé, que dijo "algo se cocina en el fondo" para describir el auto ensamblaje en los alimentos.
- ¹⁸² Elizabeth Gardner, "Brainy Food: Academia, Industry Sink their Teeth into Edible Nano", *op cit.*, ver nota 172.
- ¹⁸³ Jack Uldrich, "Now You See It...", *op cit.*, ver cita 169.

- ¹⁸⁴ Alex Scott, “BASF Takes Big Steps in Small Tech, Focusing on Nanomaterials”, *Small Times* en línea, 16 de diciembre de 2002. Disponible en: <http://www.smalltimes.com> (con fecha del 16 de julio de 2004).
- ¹⁸⁵ *Ibid.*
- ¹⁸⁶ *Ibid.*
- ¹⁸⁷ Correspondencia electrónica con el doctor Herbert Woolf, BASF, EUA, 27 de septiembre de 2004.
- ¹⁸⁸ Ver la respuesta de la FDA a la notificación GRAS: <http://vm.cfsan.fda.gov/~rdb/opa-g119.html>. La FDA apuntó que podría haber preguntas si el lycopeno se usara como colorante.
- ¹⁸⁹ Conversación telefónica con Robert Martin, 24 de septiembre de 2004.
- ¹⁹⁰ Entrevista telefónica con el doctor Gerhard Gans, 4 de octubre de 2004.
- ¹⁹¹ Ver <http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/opa-col2.html>
- ¹⁹² Ver <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/opa-fcn.html>
- ¹⁹³ Ver Grupo ETC, “Size Matters!”, 14 de abril de 2002, disponible en la red electrónica: <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=392>
- ¹⁹⁴ Institute of Medicine, *Safety of Silicone Breast Implants*, The National Academy Press, 1999, pp. 39-40, disponible en la red electrónica: <http://www.nap.edu/books/0309065321/html/>
- ¹⁹⁵ Ver <http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/get-cfr.cgi>
- ¹⁹⁶ Cabot Corporation y Degussa venden sílice ahumado (Cab-O-sil y Aerosil, respectivamente), dispuesto en partículas nanométricas. Según el contenido consultado en <http://www.radtecheurope.com/basf222003.html>, el Aerosil 200 tiene un tamaño promedio de partículas de 12 nm, y el Cab-O-sil M5 tienen un tamaño promedio de 14 nm. Ver también la descripción de la patente estadounidense US6521261, “pharmaceutical excipient having improved compressibility” [excipiente farmacéutico con compresibilidad mejorada], que se asignó a Edward Mendell Co, EUA. La patente estipula que los tamaños de las partículas tiene un rango de entre 7 nm de diámetro nominal (por ejemplo el Cab-O-Sil S-17 o el Cab-O-Sil EH-5) a un promedio de tamaño de partícula primaria del orden de los 40 nm (Aerosil OX50).
- ¹⁹⁷ Ver Carmen Moraru *et al*, *op cit*, nota 152, p. 27.
- ¹⁹⁸ Bill Martineau del Freedomia Group, citado en Wendy Wolfson, “Fish-Oil Cookies”, *Technology Review*, septiembre de 2004.
- ¹⁹⁹ Grupo ETC, “Biotech’s Generation 3”, comunicado de ETC, diciembre de 2000. Disponible en la red electrónica: <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=158>
- ²⁰⁰ Ronald J Versic, “Flavor Encapsulation: An Overview”, disponible en la red electrónica: <http://www.rtdodge.com/fl-ovrvw.html> (con fecha de 16 de julio de 2004).
- ²⁰¹ Nutralease, solicitud de patente número WO03105607A1, “Nano-sized self-assembled Structured Liquids” [líquidos estructurados y auto ensamblados de tamaño nanoscópico], publicada el 24 de diciembre de 2003.
- ²⁰² Correspondencia electrónica con el doctor Nissim Garti, de Nutralease, 14 de septiembre de 2004.
- ²⁰³ Anónimo, “Israeli Innovation Turns Junk Food into Health Food”, *Israel 21c online*, 5 de julio de 2004; disponible en la red electrónica (con fecha de 16 de julio de 2004): <http://www.israel21c.com/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&DispWhat=object&enDispWho=Articles%5E1722&enZone=Articles&enVersion=0&>
- ²⁰⁴ <http://www.rbcinfo.com>
- ²⁰⁵ <http://www.biodeliverysciences.com/bioralnutrients.html>
- ²⁰⁶ Entrevista telefónica con el doctor Raphael Mannino, 9 de septiembre de 2004.
- ²⁰⁷ *Ibid.*
- ²⁰⁸ Entrevista telefónica con el doctor Gustavo Larsen, 7 de septiembre de 2004. El doctor Larsen no quiso proporcionar información acerca de las moléculas específicas con las que trabaja. Para mayor información, véase USDA Current Research Information System, “Nano-and Micro-Encapsulation of Food Additives and Agrochemicals”, disponible en la red electrónica: <http://crisops.csrees.usda.gov>
- ²⁰⁹ John Dunn, “A Mini Revolution”, *Food Manufacture*, primero de septiembre de 2004. www.foodmanufacture.com
- ²¹⁰ <http://www.pgs.ch/delivery2005.htm>
- ²¹¹ La información relativa a los nanosomas de L’Oréal aparece en el sitio electrónico de la compañía: <http://www.lorealusa.com/research/nanosomes.aspx>
- ²¹² L’Oréal está controlada por la compañía de valores Gesperal, de la cual 51 por ciento lo tiene la familia Bettencourt y el 49 por ciento Nestlé.
- ²¹³ Ver nota 211.
- ²¹⁴ Royal Society and Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, *op cit*, ver nota 79, p. 80.
- ²¹⁵ Anónimo, boletín de prensa de L’Oréal, “Laboratoires INNEOV and L’Oréal: Bringing Cosmetic Nutritional Supplements to Market”, 24 de octubre de 2002. Disponible en la red electrónica (con fecha de 26 de julio de 2004): http://www.lorealusa.com/press-room/full_article.aspx?idART=81&cidHEADING=11
- ²¹⁶ Anónimo, “Enhancing Beauty from Within”, 18 de abril de 2003; disponible en la red electrónica: <http://www.cosmeticdesign.com> (La marca Olay es propiedad de Procter & Gamble.)

Fuente: ETC Group [en línea]

http://www.etcgroup.org/upload/publication/82/02/invasin_campo.pdf



El Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, o Grupo ETC (anteriormente conocido como RAFI) está dedicado a la conservación y al avance sustentable de la diversidad cultural y ecológica, así como a los derechos humanos. Con este propósito, el Grupo ETC apoya los desarrollos tecnológicos que sean socialmente responsables, y que guarden una utilidad para los pobres y marginados; con este fin, aborda aspectos de gobierno que afectan a la comunidad internacional. También supervisamos la propiedad y el control de la tecnología, y la consolidación del poder corporativo.

La invasión invisible del campo: el impacto de las tecnologías nanoscópicas en la alimentación y la agricultura, es el primero de una serie de informes que el Grupo ETC producirá en los próximos dos años, para documentar los impactos sociales y económicos de las tecnologías que convergen en la escala nanométrica.

