



A INVASÃO INVISÍVEL DO CAMPO

O Impacto das Nanotecnologias na Alimentação e na Agricultura

Novembro de 2004

A INVASÃO INVISÍVEL DO CAMPO

O Impacto das Nanotecnologias na
Alimentação e na Agricultura



Novembro de 2004

O Grupo ETC reconhece e agradece o apoio financeiro do International Development Research Center, Canadá, para nossa pesquisa sobre tecnologias em nanoescala. Agradecemos o apoio adicional de SwedBio (Suécia), CS Fund (EUA), Educational Foundation of America (EUA), JMG Foundation (Reino Unido) e do Lillian Goldman Charitable Trust (EUA). Os pontos de vista aqui expressos, no entanto, são de responsabilidade do Grupo ETC.

Arte original por Reymond Pagé

As publicações do Grupo ETC, inclusive *A Invasão Invisível do Campo*, podem ser baixadas gratuitamente de nosso saite eletrônico:

www.etcgroup.org

Para encomendar cópias encadernadas do relatório, por favor contate:

etc@etcgroup.org

Grupo ETC

431 Gilmour Street, Second Floor

Ottawa, ON, Canadá K2P 0R5

Fone: 1(613)2412267

Fax: 1(613)2412506

Tradução: José F. Pedroso

Revisão técnica: Maria José Guazzelli e Flavio Borghetti

CONTEÚDO

5 Resumo

7 Introdução – Uma Vista Panorâmica

11 I. Nanoagricultura: Uma Invasão Invisível do Campo

Sementes Miniaturizadas

Nanotóxicos: Agrotóxicos Encapsulados

Agricultura de Precisão: do Pó Inteligente aos Campos de Cultivo Inteligentes

O Comércio do Infinitesimal: Nanocommodities

Nanofármacos Para Animais

O Futuro da Produção Agrícola e Animal: Nanobiotecnologia e Biologia Sintética

II. Alimentos e Nutrição Nanométricos, ou “Nanotecnologia Para a Barriga”

Manufatura Molecular de Alimentos

Embalagens

Rotulagem e Monitoramento

Alimentos Nanométricos: No Fundo, o Que Se Está Cozinhando?

Liberação Especial

III. Recomendações

Anexo 1: P&D em Nanotecnologia nas Maiores Companhias Mundiais de Alimentos e Bebidas

Anexo 2: Patentes de Nanotecnologia para Alimentos e Embalagens de Alimentos

Notas

RESUMO

Assunto: A nanotecnologia, a manipulação da matéria na escala dos átomos e moléculas (um nanômetro [nm] é um bilionésimo de metro), está rapidamente convergindo com a biotecnologia e tecnologia da informação para alterar radicalmente os sistemas de alimentação e agricultura. Nas próximas duas décadas, os impactos da convergência da escala nanométrica sobre os agricultores e alimentos serão maiores que os da mecanização agrícola ou da Revolução Verde. As tecnologias convergentes poderiam revigorar as desgastadas indústrias agroquímicas e agrobiotecnológicas, desencadeando um debate ainda mais intenso – desta vez sobre alimentos “atômicalemente-modificados”. Nenhum governo desenvolveu um regime de regulamentação que considere os aspectos relativos à escala nanométrica ou os impactos sociais do invisivelmente pequeno. Uma gama de produtos alimentares e de nutrição, contendo aditivos em escala nanoscópica, invisíveis, não rotulados e não regulamentados, já está comercialmente disponível. Da mesma forma, alguns agrotóxicos formulados em escala nanométrica estão no mercado e tem sido liberados no meio ambiente.

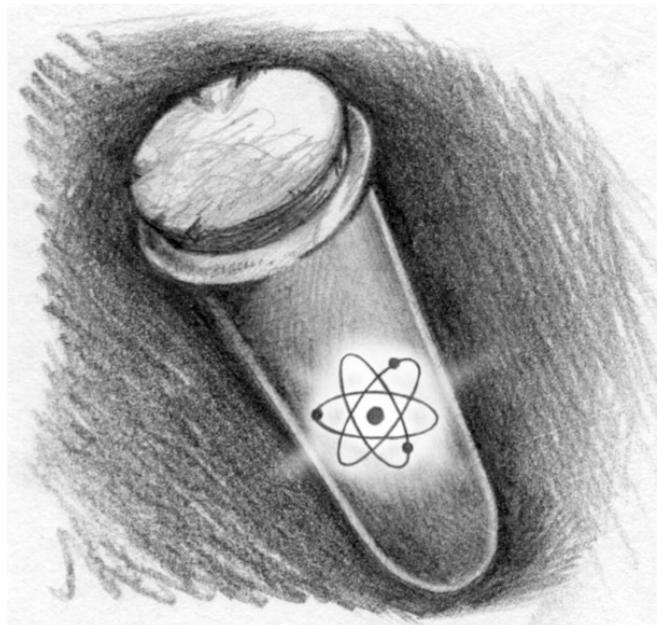
Impacto: Do solo até a mesa do jantar, a nanotecnologia não apenas mudará a *forma* de operar de cada etapa da cadeia alimentar, mas também *quem* estará envolvido. Está em jogo o mercado mundial varejista de alimentos, de US\$ 3 trilhões, os mercados de exportação agrícola avaliados em US\$ 544 bilhões, a forma de vida de cerca de 2,6 bilhões de pessoas dedicadas à agricultura e o bem-estar do resto de nós, que dependemos dos agricultores para o pão nosso de cada dia.¹ A nanotecnologia tem profundas implicações para os agricultores (e pescadores e pastores) e para a soberania alimentar em todo o mundo. A agricultura também está sujeita a se tornar o campo de provas para tecnologias que podem ser adaptadas para a vigilância, o controle social e a guerra biológica.

Políticas: O debate sobre os alimentos GM (geneticamente modificados) falhou não apenas por deixar de levar em conta preocupações relacionadas à saúde e meio ambiente mas, desastrosamente, fez vista grossa sobre os aspectos relativos à propriedade e controle. Como a sociedade será afetada e quem se beneficiará, são pontos cruciais. Como a nanotecnologia envolve toda a matéria, as nanopatentes podem ter impactos profundos sobre todo o sistema alimentar e sobre todos os setores da economia. A biologia sintética e os nanomateriais transformarão de maneira dramática a demanda por matérias-primas agrícolas essenciais aos processadores. Nanoprodutos chegaram ao mercado – e muitos mais estão chegando – sem regulamentação e sem debate social. A fusão da nano com a biotecnologia tem conseqüências desconhecidas para a saúde, a biodiversidade e o meio ambiente. Os governos e os formadores de opinião estão de 8 a 10 anos atrás das necessidades de informação da sociedade, do debate público e da estruturação de políticas.

Recomendações: Ao permitir que produtos da nanotecnologia cheguem ao mercado na ausência de um debate público e sem regulamentação, os governos, o agronegócio e as instituições científicas já comprometeram os benefícios potenciais das tecnologias nanoscópicas. Antes de tudo, é a sociedade – incluindo agricultores, organizações da sociedade civil e movimentos sociais – que deve empreender um amplo debate em torno da nanotecnologia e suas múltiplas implicações econômicas, de saúde e ambientais. Invocando o Princípio da Precaução, todos os produtos alimentares, para rações e para bebidas (inclusive suplementos nutricionais) que contiverem nanopartículas fabricadas devem ser removidos das prateleiras. Também deve ser proibida a comercialização de novos, até o momento que entrem em vigor os protocolos laboratoriais e as normas de regulamentação que levem em conta a característica especial desses materiais, e até que se demonstre que

tais produtos são seguros. Da mesma forma, deve ser proibida a liberação no ambiente das formulações em escala nanométrica de insumos agrícolas, como agrotóxicos, fertilizantes e para tratamento de solo, até que novos regimes de regulamentação especificamente destinados a examinar tais produtos os considerem seguros. Os governos também devem agir, imediatamente, para estabelecer uma moratória na experimentação em laboratório com – e a liberação de – materiais de “biologia sintética”, até que a sociedade possa empreender uma análise meticulosa das implicações para a saúde, o meio ambiente e sócioeconômicas. Quaisquer esforços dos governos ou da indústria para confinar as discussões a reuniões de especialistas ou para restringir o debate tão somente a aspectos de saúde e segurança das nanotecnologias, será um erro. Os mais amplos aspectos sociais e éticos também devem ser levados em conta.

Em nível intergovernamental, os atuais comitês e comissões de agricultura, pesca, florestas e recursos genéticos da Organização para Alimentação e Agricultura (FAO) deveriam estar monitorando e debatendo as novas tecnologias, com propostas e *feedback* das organizações de agricultores, camponeses e de pequenos produtores. O Comitê Sobre Problemas de Commodities, da FAO, deveria começar imediatamente a examinar as implicações socioeconômicas para os agricultores, a segurança alimentar e os governos nacionais. O Comitê da ONU/FAO sobre Segurança Mundial de Alimentos deveria discutir as implicações para o agroterrorismo, bem como para a soberania alimentar. Além disso, a Convenção de Biodiversidade da ONU deve revisar o impacto potencial da nanobiotecnologia, especialmente sobre a biossegurança. Outras agências da ONU, como a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) e a Organização Mundial do Trabalho (OIT) devem juntar-se à FAO para examinar o impacto da nanotecnologia sobre a propriedade e controle do abastecimento mundial de alimentos, de commodities e do trabalho. A comunidade internacional deve instituir um corpo de trabalho dedicado a rastrear, avaliar e monitorar as novas tecnologias e seus produtos, através de uma Convenção Internacional Para a Avaliação de Novas Tecnologias (ICENT).



INTRODUÇÃO – UMA VISTA PANORÂMICA

Em uma entrevista no ano passado, o ganhador do Prêmio Nobel e empresário da nanotecnologia, Richard Smalley, expressou sua frustração com o que considera preocupações exageradas em torno da segurança da nanotecnologia: “Afinal, nós não estamos aconselhando que vocês comam produtos nanotecnológicos,” declarou Smalley ao *New Statesman*.²

Opa! Enquanto o Dr. Smalley dizia aos consumidores para não se preocuparem, estimava-se que o mercado nanotecnológico de alimentos e seus processados excedia a US\$ 2 bilhões, e a projeção era de mais de US\$ 20 bilhões em 2010.³

Assim como o Dr. Smalley, a maioria de nós nem sequer imagina que produtos alimentares contendo aditivos em escala nanométrica já estão nas prateleiras da mercearia. Mas não culpe o Dr. Smalley por ser incapaz de perceber ingredientes em escala nanométrica no suco de frutas dele - afinal, eles são invisíveis, os produtos não são rotulados e não há regulamentação específica a respeito.

Em janeiro de 2003, o Grupo ETC publicou *The Big Down*, primeiro esforço da sociedade civil para descrever e analisar a convergência tecnológica em escala nanométrica. Nosso relatório teve um impacto marcante, catalisou o debate público e a atenção da mídia no mundo inteiro, e levou muitos governos e instituições científicas a empreender seus próprios estudos e a criticar suas próprias iniciativas de pesquisa. *A Invasão Invisível do Campo* é uma primeira olhada nas aplicações da nanotecnologia nos alimentos e na agricultura – tecnologias com potencial para revolucionar e consolidar ainda mais o controle sobre o fornecimento global de alimentos. Este relatório é o primeiro de uma série que o ETC publicará nos próximos dois anos sobre os impactos potenciais das nanotecnologias nos diferentes setores econômicos e sociais.

A Invasão Invisível do Campo não é uma invectiva contra mudanças tecnológicas ou um chamamento para manter o *status quo*. Ao invés disso, trata-se de uma tentativa para confrontar a realidade de que alterações tecnológicas significativas já estão acontecendo e que elas afetarão toda a sociedade. Alguns reflexos são facilmente previsíveis; outros nem tanto. Ao mesmo tempo, este relatório não aceita que a “transformação extrema” da nanotecnologia, nos alimentos e na agricultura, seja a conclusão inevitável. Nosso relatório enfoca tecnologias de ponta e as implicações potenciais para o futuro. *A Invasão Invisível do Campo* é oferecido como um ponto de partida a um debate muito mais amplo da sociedade que deve incluir organizações camponesas e de produtores rurais, movimentos sociais, a sociedade civil e governos do [hemisfério] Sul. Até agora, os participantes na discussão têm sido, basicamente, cientistas, investidores e executivos das indústrias, principalmente nas nações agrupadas na OCDE (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico).

O Grupo ETC reconhece que em um contexto justo e sensato, a nanotecnologia poderia trazer avanços úteis que talvez beneficiassem os pobres (as áreas da energia sustentável, água limpa e produção limpa parecem promissoras; aplicações nos alimentos e na agricultura parecem menos promissoras). A história mostra que a introdução de novas tecnologias importantes resulta em convulsões econômicas repentinas. Os pobres e marginalizados raramente estão em posição de prever ou ajustar-se rapidamente a mudanças abruptas na economia. Entre os mais vulneráveis estarão os pequenos agricultores e trabalhadores agrícolas dos países em desenvolvimento que produzem commodities não beneficiadas para exportação. Com base nas tendências atuais, as tecnologias em escala atômica concentrarão ainda mais o poder nas mãos das gigantes

corporações multinacionais. Como poderão os pobres beneficiar-se de uma tecnologia que está fora de seu controle?

A demanda global por materiais, ferramentas e dispositivos em escala nanométrica foi estimada em US\$ 7,6 bilhões em 2003⁴, supondo-se que cresça a US\$ 1 trilhão até 2011.⁵ A nanotecnologia agressivamente colocou-se na posição dianteira nos orçamentos de pesquisa das maiores economias e companhias do mundo. Suas aplicações nas indústrias de alta tecnologia – computadores, medicina e defesa – são as imagens de sonhos coloridos do potencial assustador da diminuta tecnologia. Em contraste com isso, as aplicações da nanotecnologia em indústrias de alimentos e agrícolas estão apenas começando a chamar a atenção e freqüentemente passam despercebidas, mesmo por quem está envolvido com nanotecnologia. (O *2004 Nanotech Report*, um relatório de pesquisa de mercado de 650 páginas, em dois volumes, produzido por Lux Research, quase nem menciona as aplicações relacionadas a alimentos e agricultura.) Ainda que as vastas implicações da nanotecnologia em alimentos e agricultura sejam praticamente desconhecidas ao final de 2004, certamente são profundas.

Tecnologias Convergentes, vulgo BANG

Em *A Invasão Invisível do Campo*, tentamos identificar as tecnologias nanoscópicas chave, que estão possibilitando à indústria remodelar nossos sistemas agrícolas e de alimentos. Nosso foco é nas tecnologias que migram para a nanoescala e convergem com a biotecnologia, tecnologias da informação e ciências cognitivas. (Vide quadro - Tecnologias Convergentes). Tanto na Europa como nos EUA, pesquisadores e formuladores de políticas reconheceram o potencial transformador das tecnologias convergentes. Mais do que as tecnologias individuais descritas neste relatório, é a sua natureza sinérgica que provocará profundas mudanças nos alimentos e na produção agrícola tais como os conhecemos.



O Tamanho Importa:

O nível nanométrico leva a matéria do âmbito da química e física convencionais para o da “mecânica quântica” – dando características únicas a materiais tradicionais – e riscos únicos à saúde e à segurança. Apenas reduzindo o tamanho (para menos de 100

nm) e sem alterações na substância, as propriedades de um material podem mudar drasticamente. Características – tais como condutividade elétrica, reatividade, resistência, cor e, especialmente importante, a toxicidade – podem todas mudar de maneiras não facilmente previsíveis. Por exemplo, uma substância que é vermelha quando tem um metro de largura, pode ser verde quando sua largura for de uns poucos nanômetros; o carbono em forma de grafite é macio e maleável; em escala nanométrica, o carbono pode ser mais resistente do que o aço. Apenas um grama de material catalisador, feito com partículas de 10 nm, é cerca de 100 vezes mais reativo do que a mesma quantidade do mesmo material feito com partículas de 1 micrão (um micrão é 1.000 vezes maior do que um nm).

Tecnologias Convergentes: NBIC, CTEKS ou BANG

Tanto na Europa como nos EUA, os pesquisadores e os formuladores de políticas reconhecem o potencial das tecnologias convergentes na transformação de todos os setores da economia e no nosso próprio entendimento do que significa sermos humanos.

O governo dos EUA refere-se à convergência como **NBIC** (integração da Nanotecnologia, Biotecnologia, Informática - ou Tecnologia da Informação - e Ciência Cognitiva) e imagina que dominar o âmbito nanométrico significa, no final das contas, dominar toda a natureza.⁶ Em nível molecular, na visão de mundo da NBIC, existe uma “unidade de matéria”, de sorte que toda a matéria – animada ou inanimada – é indistinguível e pode ser integrada sem deixar marcas. A meta da NBIC é “melhorar o desempenho humano”, tanto física como cognitivamente (por exemplo, no campo de batalha, na lavoura de trigo, no trabalho).

A Comissão Europeia liberou recentemente um relatório sobre tecnologias convergentes (TCs), preparado pelo High Level Expert Group “*Foresighting the New Technology Wave*” [como indica o nome, é um grupo europeu de especialistas de alto nível ‘para prever a nova onda tecnológica’].⁷ Distanciando-se da agenda norte-americana de “melhorar o desempenho humano”, o Grupo em questão enfatizou um “enfoque especificamente europeu à convergência tecnológica”.⁸ Propôs, também, a idéia de uma sociedade de tecnologias convergentes para o conhecimento europeu (*Converging Technologies for the European Knowledge Society*, mais conhecida como **CTEKS**), apontando para diferentes programas de pesquisa em resposta a problemas específicos, tais como “TCs para processamento de linguagem natural”, ou “TCs para o tratamento da obesidade”.⁹ O Grupo enfatiza que apesar das TCs oferecerem “uma oportunidade para resolver problemas sociais, beneficiar indivíduos e gerar riqueza”, elas também representam “ameaças à cultura e tradição, à integridade e autonomia humanas e, talvez, à estabilidade política e econômica.”¹⁰

O Grupo ETC refere-se às tecnologias convergentes como **BANG**, um acrônimo derivado de *bits*, *átomos*, *neurônios* e *genes*, as unidades básicas das tecnologias transformativas. A unidade operacional na informática é o **Bit**; a nanotecnologia manipula **Átomos**; a ciência cognitiva lida com **Neurônios** e a biotecnologia explora o **Gene**. Conjuntamente eles formam B.A.N.G. No início de 2003, o Grupo ETC alertou que BANG afetará profundamente as economias, o comércio e os modos de vida das nações – inclusive a produção agrícola e de alimentos – em países do Sul e do Norte.¹¹ BANG permitirá que a segurança e a saúde humanas – e até mesmo a diversidade cultural e genética – estejam assegurados nas mãos de uma tecnocracia da convergência.

Além das sérias implicações de toxicidade com as alterações nas propriedades quânticas, nem sempre é necessário, ou útil, traçar-se uma linha de separação entre as aplicações em nano e microescala. A “nanoescala” não é necessariamente a meta em todos os casos. A “microescala” poderá ser adequada para algumas finalidades e, para outras, dispositivos, materiais ou partículas tanto em nano como em microescala poderão igualmente servir. Ambas podem apresentar riscos significativos.

Mantendo as Nanopartículas Fora do Meio Ambiente

Em 2002, o Grupo ETC apelou por uma moratória para a liberação de nanopartículas manufaturadas, até que se estabeleçam protocolos de laboratório para proteger os trabalhadores e até que haja regulamentação para proteger os consumidores. (A expectativa de vida dos químicos PhD que trabalham em laboratórios nos EUA já é cerca de dez anos menor do que seus colegas que não trabalham em laboratórios.¹² Considerando-se esse histórico, por que adiar a tomada de medidas de precaução?) Cresce continuamente a massa de evidências que respaldam o apelo por uma moratória.¹³

A aplicação de nanopartículas na agricultura gera preocupações ambientais e de saúde, uma vez que parecem apresentar uma toxicidade diferente das versões maiores do mesmo composto. Em 2003, o Dr. Vyvyan Howard, editor fundador do *Journal of Nanotoxicology*, realizou, para o Grupo ETC, uma revisão da literatura científica relativa à toxicidade das nanopartículas. O Dr. Howard concluiu que as nanopartículas, como classe, parecem ser mais tóxicas em decorrência de seu tamanho menor, referindo também que as nanopartículas podem penetrar mais facilmente no corpo, atravessando as membranas protetoras como a pele, a barreira de sangue do cérebro e, talvez, a placenta.

Um estudo publicado pela Dra. Eva Oberdörster, em julho de 2004, encontrou que percas boca-grande (um tipo de peixe) quando expostas a pequenas quantidades de fulerenos (também conhecidos como *buckyballs* que, em síntese, são esferas nanométricas perfeitas, compostas por 60 átomos de carbono dispostos como os pentágonos e hexágonos de uma bola de futebol; recebem seu nome em homenagem a R. P. Buckminster Fuller, inventor que insistiu em que a estrutura arquitetônica perfeita era o domo geodésico) sofreram rapidamente dano cerebral, e metade das pulgas d'água que viviam junto a tais peixes, morreram.¹⁴ Outros estudos mostram que as nanopartículas podem se movimentar de maneiras inesperadas através do solo e, potencialmente, carregar outras substâncias com elas. Devido à falta de conhecimento, muitos comentaristas especializados estão recomendando que a liberação de nanopartículas engenheiradas no meio ambiente seja minimizada ou proibida. Em fevereiro de 2004, os especialistas Haum, Petschow e Steinfeldt alertaram no relatório final para o Comitê ITRE, do Parlamento Europeu: "A liberação de nanopartículas deve ser restringida devido aos efeitos potenciais no meio ambiente e na saúde humana."¹⁵

Por outro lado, a Royal Society and Royal Academy of Engineering (Real Sociedade e Real Academia de Engenharia), no documento "*Nanoscience e Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*", de julho de 2004, insistem em que "Praticamente não há informação disponíveis quanto ao efeito de nanopartículas sobre outras espécies exceto a humana, ou sobre como elas se comportam no ar, na água ou no solo, ou sobre sua capacidade de se acumular nas cadeias alimentares. Até que se saiba mais a respeito de seu impacto ambiental, insistimos que se deve evitar, tanto quanto possível, a liberação de nanopartículas e nanotubos no meio ambiente. Como medida de precaução recomendamos, especificamente, que as fábricas e laboratórios de pesquisa tratem as nanopartículas e os nanotubos manufaturados como se fossem resíduos de alto risco e que o uso de nanopartículas livres em aplicações ambientais, tais como remediação de água subterrânea, seja proibido."

I. NANOAGRICULTURA: UMA INVASÃO INVISÍVEL DO CAMPO

Em dezembro de 2002, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) esboçou o primeiro “mapa de rota” do mundo para a aplicação da nanotecnologia à agricultura e alimentos.¹⁶ Um amplo grupo de formuladores de políticas, representantes de doadores para universidades e cientistas de empresas reuniram-se na Universidade de Cornell (Estado de Nova Iorque, EUA) para compartilhar sua visão de como refazer a agricultura utilizando tecnologias nanoscópicas. A pesquisa nanotecnológica do USDA tem sido financiada, desde 2003, pela Iniciativa Governamental de Nanotecnologia em Nível Nacional (National Nanotechnology Initiative - NNI), do governo dos EUA. Mas o USDA recebe uma fatia relativamente pequena do bolo – espera-se que a agência receba US\$ 5 milhões em fundos para a nanotecnologia no ano fiscal de 2005 – meros 0,5% do total dos fundos da NNI.

De acordo com a nova visão nanométrica, a agricultura precisa ser mais uniforme, ainda mais automatizada, industrializada e reduzida a funções simples. Em nosso futuro molecular, a produção agropecuária será uma biofábrica de grande extensão, que possa ser monitorada e manejada a partir de um ‘notebook’. Os alimentos serão manufaturados a partir de substâncias projetadas para liberar, de forma eficiente, nutrientes ao corpo. A nanobiotecnologia aumentará o potencial da agricultura para colher insumos alimentícios destinados a processos industriais. Enquanto isso, commodities da agricultura tropical como borracha, cacau, café e algodão – e os agricultores de pequena escala que as produzem – terminarão se sentindo exóticos e irrelevantes em uma nova nanoeconomia de “matéria flexível”, onde as propriedades de nanopartículas industriais podem ser ajustadas para criar substitutos mais baratos, “mais inteligentes”.

Assim como a agricultura de organismos geneticamente modificados levou a novos níveis de concentração corporativa em todos os elos da cadeia alimentar, também a nanotecnologia privada, desenvolvida da semente ao estômago, do genoma ao papo, aumentará ainda mais o controle do agronegócio sobre os alimentos e agricultura mundiais em todos os estágios – tudo, obviamente, em nome de acabar com a fome, proteger o ambiente e proporcionar mais opções de escolha aos consumidores.

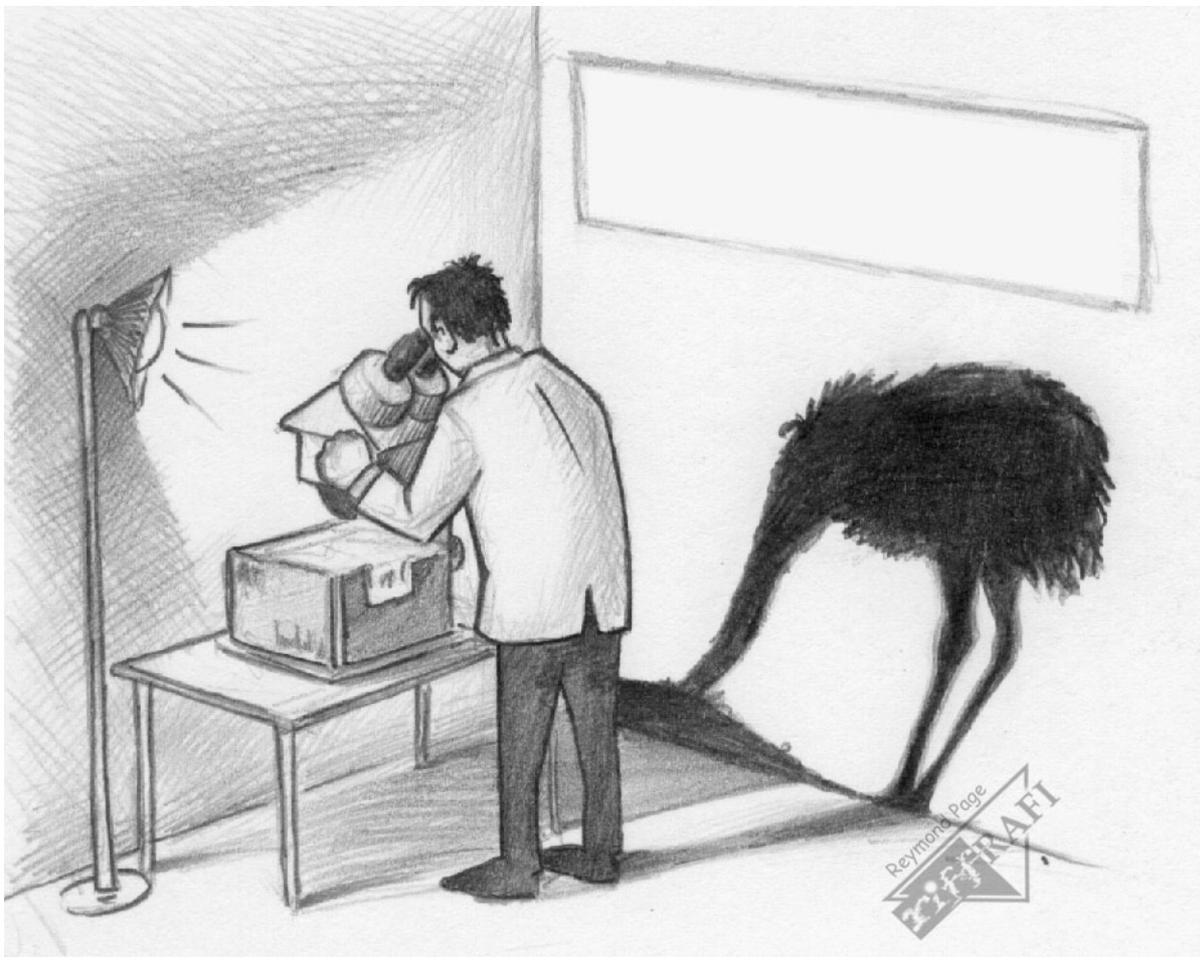
Por duas gerações os cientistas vêm manipulando os alimentos e a agricultura em nível molecular. A agricultura nanométrica une os pontos na cadeia alimentar industrial e desce mais um degrau. Com novas técnicas em escala nanométrica (que permitem combinar e controlar os genes), plantas geneticamente modificadas tornam-se plantas atômicaamente modificadas. Os agrotóxicos podem ser dosados com maior precisão para matar pragas indesejadas. Os flavorizantes artificiais e nutrientes naturais podem ser engenheirados para agradar ao paladar. A visão de uma agricultura industrial de controle centralizado e automatizada, usando sensores moleculares, sistemas moleculares de liberação de substâncias e mão de obra barata pode ser agora implementada.

Sementes Miniaturizadas

Reorganizar processos naturais não é uma idéia nova. Para aumentar o rendimento da produção durante a Revolução Verde, os cientistas do Norte criaram plantas semi-anãs, mais aptas para absorver fertilizantes sintéticos, o que provocou um aumento da necessidade de agrotóxicos pelas plantas. Para aumentar ainda mais a dependência, a indústria da biotecnologia agrícola desenvolveu plantas que podiam tolerar substâncias

químicas tóxicas. As companhias de biotecnologia agrícola tiveram uma escolha: elas podiam estruturar novas substâncias químicas para atender às necessidades das plantas, ou podiam manipular as plantas para atender às necessidades das companhias de herbicidas. Elas optaram por preservar seus herbicidas. Agora, as companhias de nanotecnologia estão indo pelo mesmo caminho – buscando novas maneiras para que a vida e a matéria possam servir às necessidades da indústria.

Os agricultores são os responsáveis pela maioria do melhoramento de plantas no mundo através da seleção, guarda e cruzamento de sementes. Além disso, são os principais guardiões da diversidade genética vegetal, essencial ao fornecimento mundial de alimentos tanto hoje quanto no futuro. Esse processo – com milhares de anos de idade – não precisa nem de microscópio atômico, nem de um doutorado em bioquímica. Se os agricultores não têm o controle sobre novas tecnologias que os afetam, nem a oportunidade de participar no estabelecimento de prioridades de pesquisa, é provável que as tendências da ciência em escala nanométrica, como as identificadas a seguir, consolidem o poder das corporações e marginalizem os direitos dos agricultores.



Terapia genética para plantas: Os pesquisadores estão desenvolvendo novas técnicas que usam nanopartículas para introduzir DNA estranho para dentro das células. Por exemplo, no Oak Ridge National Laboratory, o laboratório do Departamento de Energia dos EUA que teve papel central na produção de urânio enriquecido para o Projeto Manhattan (que resultou na bomba atômica), os pesquisadores descobriram uma técnica de escala nanométrica para injetar DNA em milhões de células de uma só vez. Conseguiram que milhões de nanofibras de carbono com filamentos de DNA sintético aderidos a elas cresçam

em um *chip* de sílica.¹⁷ Células vivas são então jogadas contra as fibras sendo perfuradas por elas e, nesse processo, o DNA é injetado para dentro das células:

“É como atirar um punhado de bolas de beisebol contra uma cama de pregos... Nós literalmente atiramos as células contra as fibras, e a seguir esmagamos as células para dentro do *chip* para que as fibras penetrem ainda mais na célula.” – Timothy McKnight, engenheiro, Oak Ridge Laboratory.¹⁸

Uma vez injetado, o DNA sintético expressa novas proteínas e novos traços. Oak Ridge colabora agora com o Institute of Paper Science and Technology [Instituto da Ciência e Tecnologia do Papel], em um projeto destinado a usar essa técnica para a manipulação genética de um pinus (*loblolly pine*) que é a fonte primária de polpa para a indústria de papel nos EUA.

Diferentemente dos métodos de engenharia genética existentes, a técnica desenvolvida pelos cientistas do Oak Ridge não transmite traços modificados para as gerações seguintes porque, em teoria, o DNA permanece aderido à nanofibra de carbono, incapaz de se integrar ao próprio genoma das plantas. A consequência é que seria possível reprogramar as células somente uma vez. De acordo com os cientistas do Oak Ridge, isso alivia as preocupações sobre o fluxo genético associado às plantas geneticamente modificadas, onde os genes são transferidos entre organismos não relacionados entre si e onde se acomodam ou desaparecem dentro de uma espécie. Se a nova técnica possibilita aos pesquisadores ligar ou desligar seletivamente um traço chave, como a fertilidade, irão as companhias produtoras de sementes usar os diminutos *terminators* para evitar que os agricultores guardem e reutilizem as sementes colhidas – forçando-os a voltar ao mercado de sementes comerciais a cada ano, para obter o traço genético ativado que eles precisam?

Esse enfoque também levanta uma série de questões sobre segurança: o que ocorreria se as nanofibras fossem ingeridas, como alimento, pela fauna silvestre ou por humanos? Quais são os impactos ecológicos se as nanofibras penetrarem nas células de outros organismos provocando neles a expressão de novas proteínas? Para onde irão as nanofibras quando a planta se decompuser no solo? As nanofibras de carbono têm sido comparadas a fibras de asbesto, por terem formas similares. Estudos iniciais de toxicidade sobre algumas nanofibras de carbono demonstraram inflamação em células. Um estudo feito pela NASA encontrou que a inflamação nos pulmões é mais grave do que em casos de silicose,¹⁹ apesar do Prêmio Nobel Richard Smalley, Presidente da Carbon Nanotechnologies Inc., dar pouca importância a tais preocupações: “Estamos confiantes de que se provará não haver riscos para a saúde, mas esse trabalho [em toxicologia] continua.”²⁰

Sementes Atomicamente Modificadas: Em março de 2004, o Grupo ETC informou a respeito de uma iniciativa de pesquisa em nanotecnologia na Tailândia que visa modificar atomicamente as características de variedades locais de arroz.²¹ Em um projeto de três anos, no laboratório de física nuclear da Chiang Mai University, os pesquisadores “perfuraram” um orifício através da membrana de uma célula de arroz a fim de inserir um átomo de nitrogênio que estimularia a reorganização do DNA do arroz.²² Até agora, os pesquisadores conseguiram alterar a cor de uma variedade local de arroz, do lilás para o verde. Numa entrevista telefônica, o Dr. Thirapat Vilaithong, diretor da Chiang Mai’s Fast Neutron Research Facility, declarou à Biodiversity Action Thailand (BIOTHAI) que a sua próxima meta será o famoso arroz Jasmim da Tailândia.²³ O objetivo da sua pesquisa é desenvolver variedades de arroz Jasmim que possam ser cultivadas durante todo o ano, com hastes mais curtas e melhorias na cor do grão.²⁴

Segundo o Dr. Vilaithong, um dos atrativos dessa técnica em escala nanométrica é que, da mesma forma que o projeto de Oak Ridge, ela não exige a controversa técnica de modificação genética. “Pelo menos nós podemos evitá-la”, disse o Dr. Vilaithong.²⁵ As organizações da sociedade civil da Tailândia são céticas a respeito dos benefícios.

Nanotóxicos: Agrotóxicos Encapsulados

Os agrotóxicos contendo ingredientes ativos em escala nanométrica já estão no mercado. Muitas das principais companhias de agroquímicos do mundo estão realizando P&D para obter novas formulações de agrotóxicos em escala nanométrica (vide abaixo, na seção Gigantes dos Genes: Pesquisa e Desenvolvimento no Processo de Encapsulação). Por exemplo:

A **BASF** da Alemanha, a quarta corporação mundial de agroquímicos (e a maior companhia de produtos químicos do mundo), reconhece a utilidade potencial da nanotecnologia na formulação de agrotóxicos.²⁷ A BASF está realizando pesquisa básica e requereu patente para uma formulação de agrotóxico - “Nanopartículas Como Parte de um Agente de Proteção de Cultivos”, que envolve um ingrediente ativo cujo tamanho ideal de partícula fica entre 10 e 150 nm.²⁸ A vantagem da nanoformulação é que o agrotóxico se dissolve mais facilmente na água (para simplificar a aplicação nos cultivos); é mais estável e a capacidade de matar do produto químico (herbicida, inseticida ou fungicida) é otimizada.

Bayer Crop Science da Alemanha, a segunda maior companhia de agrotóxicos do mundo, requereu patente de agroquímicos na forma de uma emulsão em que o ingrediente ativo é composto por gotículas em escala nanométrica que variam entre 10 e 400 nm.²⁹ (Emulsão é um material onde um líquido dispersa-se em outro – tanto a maionese como o leite são emulsões). A companhia refere-se à invenção como um “concentrado de microemulsão”, com vantagens tais como redução da quantidade aplicada, “atividade mais rápida e confiável” e “atividade de longo prazo prolongada”.

Syngenta, com sede na Suíça, é a maior companhia de agroquímicos do mundo e a terceira maior produtora de sementes. A Syngenta já vende agrotóxicos formulados como emulsões, contendo gotículas em escala nanométrica. Assim como a Bayer Crop Science, a Syngenta refere-se a esses produtos como concentrados em microemulsão. Por exemplo, o Regulador de Crescimento de Plantas Primo MAXX da Syngenta (desenvolvido para evitar que o gramado, em campos de golfe, cresça muito rapidamente) e seu fungicida Banner MAXX (para tratamento de gramados em campos de golfe) são agrotóxicos com base oleosa, misturada com água e depois aquecida para criar uma emulsão. A Syngenta afirma que o tamanho extremamente pequeno das partículas de ambos os produtos, de cerca de 100 nm (ou 0,1 micrão) evita que entupam os filtros dos tanques de aspersão. Esses produtos químicos misturam-se de modo tão completo na água que não se separam no tanque.³⁰ O fungicida Banner MAXX não se separa da água por um período de até um ano, enquanto fungicidas contendo ingredientes com partículas maiores geralmente devem ser agitados a cada duas horas para evitar aplicação incorreta e entupimento do tanque.³¹ A Syngenta afirma que o tamanho das partículas de sua fórmula é cerca de 250 vezes menor do que as de um agrotóxico comum. De acordo com a Syngenta, ele é absorvido sistemicamente pela planta e não pode ser arrastado pela chuva ou irrigação.³²

O Grupo ETC não está questionando o cumprimento das atuais normas sobre agrotóxicos pelas Gigantes dos Genes. Agrotóxicos contendo ingredientes ativos nanométricos não requerem revisão normativa especial, de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA): um agrotóxico formulado de novo, como nanoemulsão, não precisaria de uma reavaliação regulatória porque não seria “um novo químico, uma nova forma química e nem

teria um novo uso ‘significativo’”.³³ A Dra. Barbara Karn, do setor de P&D da EPA, declara que “o agrotóxico não se comportará de modo quimicamente diferente quando em uma emulsão.”³⁴ Ela explica ainda que “não há diferenças nas propriedades da solução do agrotóxico por causa da adição dessas gotículas, e os produtos químicos do agrotóxico, em si mesmo, não exibem propriedades diferentes”.³⁵ De modo surpreendente, a EPA não considera as nanoemulsões da Syngenta como baseados em nanomateriais ou como nanotecnologia. A resposta da EPA ressalta a falta de clareza sobre o que é considerado nanotecnologia. Enquanto a indústria de agroquímicos explora o tamanho para alterar as características e o comportamento dos seus agrotóxicos, a EPA conclui que, no caso de nanoemulsões, o tamanho não importa.

Gigantes dos Genes – Pesquisa e Desenvolvimento no Processo de Encapsulação:

Uma abordagem mais sofisticada à formulação de agrotóxicos em escala nanométrica envolve a encapsulação – embalagem do ingrediente ativo em escala nanométrica em uma espécie de minúsculo “envelope” ou “concha”. Tanto os ingredientes de alimentos como os agroquímicos na forma de microencapsulados estão no mercado há várias décadas. Segundo a indústria, a reformulação de agrotóxicos em microcápsulas desencadeou “mudanças revolucionárias”, inclusive a capacidade de controlar em que condições o ingrediente ativo é liberado (vide quadro a seguir). De acordo com a indústria agroquímica, reformular os agrotóxicos em microcápsulas pode também prorrogar a validade das patentes, aumentar a solubilidade, reduzir o contato dos ingredientes ativos com os trabalhadores rurais³⁶ e poderá ter vantagens ambientais como a redução das taxas de escorrimento.

A norte-americana **Monsanto**, maior fornecedora mundial de tecnologia de sementes geneticamente modificadas e fabricante do herbicida RoundUp, de sucesso arrasador, já vende alguns agrotóxicos microencapsulados. Em 1998, a Monsanto fez um acordo com a Flamel Nanotechnologies para desenvolver nanocápsulas “Agsome” de RoundUp, que poderia ser quimicamente mais eficiente do que a fórmula convencional. No entanto, de acordo com um porta-voz da Flamel, o motivo real do acordo foi o desejo da Monsanto em assegurar a patente do RoundUp por mais 17 a 20 anos.³⁷ O acordo da Monsanto com a Flamel foi rompido dois anos depois por razões desconhecidas.

A **Syngenta** se autodenomina “líder mundial” na tecnologia de microcápsulas e afirma ser pioneira na sua utilização em agrotóxicos.³⁸ Cada litro da formulação microencapsulada Zeon da Syngenta contém cerca de 50 trilhões de cápsulas especialmente desenvolvidas para ‘liberação rápida’, abrindo-se ao contato com a folha da planta.³⁹ Como as cápsulas aderem fortemente às folhas, resistem a serem arrastadas pela chuva. Um similar produto microencapsulado da Syngenta está sendo aplicado em sementes, como tratamento para controlar pragas do solo na germinação.

Essa empresa desenvolveu um outro inseticida encapsulado para pragas domésticas como baratas, formigas e besouros, bem como um repelente de longa duração contra mosquitos. Os cientistas da Syngenta estão pesquisando cápsulas com gatilho de liberação cujo envoltório exterior somente pode ser aberto em condições especiais. Por exemplo, a Syngenta tem uma patente de uma microcápsula “rompe-tripas” que se abre em ambiente alcalino, como o trato digestivo de certos insetos.⁴⁰

A Syngenta gaba-se de que “a microencapsulação destaca-se como uma técnica capaz de produzir novos e surpreendentes efeitos a partir de ingredientes conhecidos fazendo com que as vendas cresçam tão rapidamente como se um novíssimo ingrediente ativo tivesse sido inventado!”⁴¹ Em outras palavras, a formulação encapsulada oferece maior retorno pelo dinheiro empregado com agrotóxicos porque o tamanho reduzido otimiza sua efetividade e a

cápsula pode ser projetada para liberar o ingrediente ativo sob distintas condições. A Syngenta também está pesquisando agrotóxicos nanoencapsulados.⁴²

O Grupo ETC não está em posição de avaliar se os agrotóxicos formulados como nanogotículas – tanto encapsulados como na forma de nanoemulsões – exibem ou não mudanças nas suas propriedades relativas aos “efeitos quânticos” mostradas pelas nanopartículas engenheiradas. No entanto, fica claro que o ímpeto de formular agrotóxicos em escala nanométrica provém da mudança de comportamento do produto reformulado: a potência do ingrediente ativo pode ser maximizada e a atividade biológica, prolongada (e, no caso de agrotóxicos encapsulados, a liberação da substância ativa pode ser controlada).

Em outras áreas de uso, como cosméticos, as nanoemulsões são consideradas um mecanismo muito eficiente para liberar óleos através da pele.⁴³ Elas também podem exibir propriedades antibacterianas pela ação mecânica das pequenas gotículas fundindo-se com e rompendo as paredes celulares das bactérias. As nanoemulsões podem ser usadas para danificar células sanguíneas e do esperma (por exemplo, como contraceptivos).⁴⁴ No caso de agrotóxicos em nanoemulsão, não está claro se as propriedades antibacterianas são relevantes e/ou têm sido avaliadas pelos seus impactos no solo e em outros microorganismos.

Redimensionando Nanocápsulas e Microcápsulas:

De acordo com a indústria, a encapsulação oferece as seguintes vantagens:⁴¹

- Atividade biológica mais prolongada
- Menor fusão com o solo permitindo melhor controle de pragas do solo
- Reduz a exposição dos trabalhadores
- Melhora a segurança por eliminar solventes inflamáveis
- Reduz danos aos cultivos
- Menos agrotóxico perdido por evaporação
- Menor efeito sobre outras espécies
- Reduz o impacto ambiental
- Evita a degradação de ingredientes ativos pela luz solar
- Torna o agrotóxico concentrado seguro e fácil de ser manuseado pelos produtores

Encapsulando o Controle

A nanotecnologia permite que as companhias manipulem as propriedades do envoltório exterior de uma cápsula, a fim de controlar o momento da liberação da substância ativa. As estratégias de 'liberação controlada' são altamente valorizadas na medicina, uma vez que permitem que os fármacos sejam absorvidos mais lentamente, em um local específico do corpo, ou por comando de um gatilho externo. Com potenciais aplicações ao longo da cadeia alimentar (em agrotóxicos, vacinas, medicina veterinária e plantas enriquecidas nutricionalmente), essas formulações nano e microscópicas estão sendo desenvolvidas e patenteadas por companhias agroindustriais e de alimentos, como Monsanto, Syngenta e Kraft.

Exemplos de nano e microcápsulas:

- **Liberação lenta** – a cápsula libera sua carga lentamente por um período mais prolongado (por exemplo, para a liberação lenta de uma substância no corpo)⁴⁵
- **Liberação rápida** – o envoltório da cápsula rompe-se ao contato com uma superfície (por exemplo, quando um agrotóxico toca numa folha)⁴⁶
- **Liberação específica** – o envoltório é projetado para se abrir quando um receptor molecular liga-se a um químico específico (por exemplo, ao encontrar um tumor ou proteína no corpo)⁴⁷
- **Liberação por umidade** – o envoltório decompõe-se e libera o conteúdo em presença de água (por exemplo, no solo)⁴⁸
- **Liberação por calor** – o envoltório libera os ingredientes somente quando o ambiente aquece-se acima de uma determinada temperatura⁴⁹
- **Liberação pelo pH** – a nanocápsula rompe-se somente em ambiente ácido ou alcalino específico (por exemplo, no estômago ou dentro de uma célula)⁵⁰
- **Liberação por ultra-som** – a cápsula é rompida por uma freqüência externa de ultra-som⁵¹
- **Liberação magnética** – uma partícula magnética na cápsula rompe o envoltório quando exposta a um campo magnético⁵²
- **Nanocápsula de DNA** – a cápsula cotransporta uma seqüência curta de DNA estranho para dentro de uma célula viva que, uma vez liberada, seqüestra mecanismos da célula para expressar uma proteína específica (usado em vacinas de DNA)⁵³

Preocupações geradas pela encapsulação:

- Se a atividade biológica é mais prolongada também o são a exposição dos trabalhadores e o efeito no ambiente; insetos benéficos e a vida do solo podem ser afetados.
- Poderiam os agrotóxicos em escala nanométrica serem capturados pelas plantas e contrabandeados para a cadeia alimentar?
- Esses agrotóxicos podem mais facilmente ser fabricados como aerossóis de pó ou gotículas – portanto passíveis de ser inalados e, conseqüentemente, talvez uma ameaça maior à saúde humana e à segurança.
- Poderiam os agrotóxicos formulados como nanocápsulas ou gotículas em escala nanométrica exibir toxicidade diferente, penetrando no corpo e afetando a vida silvestre através de novas rotas de exposição, por exemplo, através da pele? (Vide quadro anterior, Mantendo as Nanopartículas Fora do Meio Ambiente).
- Potencial para uso como veículo de armas biológicas.
- Que outros gatilhos externos poderiam afetar a liberação do ingrediente ativo (por exemplo, ligação química, aquecimento ou decomposição da cápsula)?

- As microcápsulas têm tamanho semelhante ao do pólen e podem envenenar abelhas e/ou serem levadas para as colméias e incorporadas ao mel. Por seu tamanho, os inseticidas microencapsulados são considerados mais tóxicos às abelhas melíferas do que qualquer formulação até agora desenvolvida.⁵⁵ Serão as nanocápsulas mais letais?
- Se ingeridas com a comida, não se sabe como se comportarão no aparelho digestivo humano as nanocápsulas que ‘não explodiram’.

Implicações da Encapsulação em Armas Nanobiológicas:

As nano e microcápsulas são um veículo ideal para liberarem armas químicas e biológicas. Podem transportar substâncias que visam causar dano a humanos tão facilmente quanto substâncias que matam insetos e pragas. Em virtude de seu pequeno tamanho, as nanocápsulas de DNA poderão penetrar no corpo sem serem detectadas pelo sistema imunológico e, depois, serem ativadas pelos mecanismos das próprias células para produzirem compostos tóxicos. O aumento da biodisponibilidade e da estabilidade das substâncias nanoencapsuladas no meio ambiente podem oferecer vantagens às Gigantes dos Genes, mas as mesmas características podem torná-las veículos extremamente potentes na guerra biológica. Além disso, devido ao aumento da biodisponibilidade, somente uma pequena quantidade da substância química é necessária.

Quando programada para gatilhos externos, tais como ultra-som ou frequências magnéticas, a ativação pode ser controlada remotamente, sugerindo vários cenários sombrios. Poderiam as corporações de agroquímicos/sementes ativar remotamente gatilhos para fazer fracassar cultivos, caso o produtor tivesse infringido a patente da companhia? Ou caso tivesse deixado de seguir as práticas prescritas para a produção? E se nanocápsulas contendo um potente composto forem colocadas em uma fonte de abastecimento regional de água, por um agressor ou grupo terrorista estrangeiro?

De acordo com The Sunshine Project, o “Australia Group” (um grupo de 24 nações industrializadas) propôs recentemente que as tecnologias de microencapsulação sejam colocadas na lista comum de tecnologias cuja exportação é proibida a governos “não confiáveis”, pelo medo de serem usadas como armas biológicas.⁵⁷ Documentos obtidos pelo Sunshine Project mostram, também, que os militares dos EUA financiaram a Universidade de New Hampshire em 1999-2000 para desenvolver microcápsulas contendo substâncias químicas corrosivas e anestésicas (isto é, para produzir a inconsciência). Os documentos descrevem como as microcápsulas poderiam ser lançadas contra uma multidão, corroer roupas de proteção e, então, se romper em contato com a umidade da pele humana.⁵⁸

Agricultura de Precisão: do Pó Inteligente aos Campos de Cultivo Inteligentes

Agricultura Robotizada com Nanosensores: “Agricultura de precisão”, também conhecida como “*site specific management*”, descreve um grupo de novas tecnologias da informação aplicadas ao manejo da agricultura comercial em larga escala. As tecnologias da agricultura de precisão incluem, por exemplo: computadores pessoais, sistema de posicionamento por satélite, sistemas de informações geográficas, controle automatizado de máquinas, dispositivos de sensoriamento remoto e telecomunicações.

“São 5 horas da manhã. Um agricultor do Meio-Oeste toma café à frente de um computador. Imagens de satélites atualizadas a cada minuto mostram um problema com insetos, em uma

área no canto noroeste da fazenda. Às 6:30, o produtor vai até o local exato para aplicar a quantidade exata de herbicida”. – matéria para imprensa do Illinois Laboratory for Agricultural Remote Sensing.⁵⁹

A agricultura de precisão conta com o sensoriamento intensivo das condições ambientais e com o processamento computadorizado dos dados, fornecendo informações à tomada de decisão e controle da maquinária agrícola. As tecnologias de agricultura de precisão geralmente conectam sistemas de posicionamento global (GPS) com imagens das áreas de cultivo via satélite. Assim, à distância, percebe-se pragas na lavoura ou evidência de seca e, então, ajustam-se automaticamente, à medida que o trator se move sobre a área cultivada, os níveis de irrigação ou de aplicações de agrotóxicos. Monitores de produção, ajustados em colheitadeiras, medem a quantidade e os níveis de umidade dos grãos à medida em que são colhidos, nas diferentes partes da área cultivada, gerando modelos computadorizados que orientarão as decisões sobre a forma ou cronograma de aplicação dos insumos. A agricultura de precisão promete maior produção e menores custos de insumos ao otimizar o manejo agrícola, reduzindo, assim, custos com perdas e com mão de obra. Também oferece o potencial para empregar operadores de máquinas menos especializados e por isso mais baratos, uma vez que, teoricamente, tais sistemas podem simplificar e centralizar a tomada de decisões. No futuro, a agricultura de precisão será semelhante a uma agricultura robotizada, pois a maquinária agrícola está projetada para operar de modo autônomo, adaptando-se continuamente aos dados que vão surgindo.

Se funcionarem como projetados, onnipresentes sensores sem fio (vide abaixo) serão uma ferramenta essencial para realizar esta visão da agricultura de precisão. Sensores em rede, espalhados pela terra cultivada, fornecerão dados sobre as condições das plantas e do solo, enviando-os em tempo real a um local remoto. Assim, o produtor (ou executivo de agronegócio) não precisará mais sujar suas botas para acompanhar a lavoura. Como muitas das condições que um agricultor quer monitorar (p.ex. a presença de vírus em plantas ou o nível de nutrientes no solo) operam em nanoescala, e porque em nível nanométrico as superfícies podem se alterar para se ligar seletivamente a determinadas proteínas biológicas, sensores com sensibilidade nanoscópica serão particularmente importantes para concretizar esta visão.

Liderando o coro de entusiasmo por “campos de cultivo inteligentes” interligados a nanosensores sem fio, está o Departamento de Agricultura dos EUA (USDA). No que eles originalmente apelidaram de “Tecnologia do Pequeno Irmão”⁶¹ [uma alusão minúscula ao Grande Irmão todo vigilante do livro *1984* de George Orwell], o Departamento identifica o desenvolvimento de sensores agrícolas como uma de suas mais importantes prioridades de pesquisa.⁶² O USDA está trabalhando para promover e desenvolver um “Sistema de Campos de Cultivo Inteligentes” total que automaticamente detecta, localiza, informa e aplica água, fertilizantes e agrotóxicos - ultrapassando o simples sensoriamento e chegando na aplicação automática.

A indústria já está fazendo experiências com redes de sensores sem fio para a agricultura. A fabricante de *chips* de computadores Intel, cujos *chips* têm características nanoscópicas,⁶³ instalou nódulos de sensores sem fio maiores (chamados de *motes*) em todo a extensão de um vinhedo no Oregon, EUA.⁶⁴ Os sensores medem a temperatura uma vez por minuto e são o primeiro passo para a automação completa do vinhedo. A Intel também emprega etnógrafos e cientistas sociais para estudar o comportamento dos trabalhadores em vinhedos, com a finalidade de ajudar a desenhar o sistema. A visão da Intel para redes sem fio é de ‘computação pró-ativa’ – sistemas onnipresentes que antecipam as necessidades do produtor e atuam antes que sejam solicitados a fazê-lo. Em um empreendimento similar,

a empresa de consultoria multinacional Accenture fez parceria com a fabricante de motes Millennial Net para colocar uma rede de sensores em um vinhedo na Califórnia.⁶⁵

De acordo com a Crossbow Technologies, seus motes podem ser usados na agricultura para o manejo da irrigação, detecção e aviso de geadas, aplicação de agrotóxicos, cronograma de colheita, bio-remediação e contenção, e medição e controle da qualidade da água.

“Pó Inteligente” e “Inteligência Ambiental”:

A idéia de que milhares de diminutos sensores poderiam ser espalhados como olhos, ouvidos e narizes invisíveis através dos campos de cultivo e campos de batalha soa como ficção científica. Mas, dez anos atrás, Kris Pister, um professor de robótica na Universidade de Berkeley na Califórnia recebeu financiamento da Agência de Projetos de



Pesquisa Avançada em Assuntos de Defesa dos EUA (DARPA), para desenvolver sensores autônomos, cada um deles do tamanho de uma cabeça de fósforo. Utilizando a tecnologia de gravação em sílica, esses motes (sensores de “pó inteligente”) teriam uma fonte própria de energia, capacidades de computação e a possibilidade de detectar e então se comunicar com outros motes na vizinhança. Dessa forma, os motes individuais se auto organizariam em redes de computação *ad hoc*, capazes de transmissão de dados através de tecnologia sem fio (isto é, rádio). O interesse imediato da DARPA, no projeto, era estender redes de pó inteligente pelo terreno do inimigo, para obter informação em tempo real sobre movimentação de tropas, armas químicas e outras condições de campo de batalha, sem ter de arriscar vidas de soldados. No entanto, como aquele outro projeto pioneiro da DARPA, a Internet, rapidamente se tornou claro que diminutos sistemas de vigilância teriam infinitos usos civis, desde o monitoramento de uso de energia em edifícios de escritórios, ao acompanhamento de bens de consumo através da cadeia de suprimento e ao monitoramento de dados ambientais.

Hoje, micro e nanosensores sem fio, como aqueles iniciados por Kris Pister, são uma área de intensa pesquisa para grandes corporações, da Intel a Hitachi, um foco de desenvolvimento em todos os laboratórios de defesa dos EUA e em campos tão distintos quanto a medicina, a energia e as comunicações. Anunciados pelo The Economist, Red Herring e Technology Review como 'a próxima grande novidade', sensores sem fio embutidos em tudo, desde as roupas que usamos até os entornos onde nos movemos, poderiam alterar radicalmente a maneira com que nos relacionamos diariamente com os bens de consumo, serviços, meio ambiente e o Estado. O objetivo é desenvolver o que os pesquisadores chamam de 'inteligência ambiental' – entornos inteligentes que usam sensores e inteligência artificial para prever as necessidades das pessoas e responder de acordo: escritórios que ajustam os níveis de luz e aquecimento durante o dia, ou roupas que alteram suas cores ou aquecem, conforme o ambiente externo. Um exemplo simples de

ambiente inteligente já em uso é o sistema de ‘airbag’ nos carros mais modernos, que “sente” o choque iminente e posiciona uma almofada para amaciar o golpe no passageiro.

Os moles de pó de Kris Pister estão atualmente longe de serem nano (são mais ou menos do tamanho de uma moeda), mas já foram licenciados para empresas comerciais. Em 2003, Pister estabeleceu uma empresa *spin-off* para explorar o “pó inteligente”, a Dust. Inc. As seguintes especulações de Kris Pister são um aperitivo do que será uma sociedade imersa em inteligência ambiental:⁶⁷

- “Em 2010, uma diminuta partícula de pó em cada uma das suas unhas transmitirá, continuamente, o movimento das pontas dos dedos ao seu computador. Seu computador entenderá quando você digitar, apontar, clicar, gesticular, esculpir ou fingir que toca violão.
- Em 2010, os bebês não morrerão da Síndrome de Morte Súbita Infantil, nem se sufocarão, nem se afogarão, sem que um alarme avise aos pais. Como mudará a sociedade quando a piscina de seus vizinhos [sic] chamar seu celular para lhe dizer que o Joãozinho está se afogando e que você é o adulto mais próximo que podia ser localizado?
- Em 2020, não haverá mais doença sem aviso prévio. Implantes de sensores crônicos irão monitorar todos os principais sistemas circulatórios do corpo humano, e lhe darão um aviso antecipado sobre um possível resfriado, ou salvarão sua vida ao detectar câncer suficientemente cedo para que possa ser totalmente removido cirurgicamente.”

Nanosensores: Com os atuais avanços técnicos, os microsensores encolhem em tamanho enquanto expandem sua capacidade de sensoriamento. Os analistas de mercado prevêem que o mercado de sensores sem fio será de US\$ 7 bilhões em 2010.⁶⁸

Nanosensores feitos de nanotubos de carbono, ou os nanocantilevers (estruturas de braços em balanço/equilíbrio), são pequenos o suficiente para detectar e medir as proteínas individualmente, ou mesmo moléculas. Nanopartículas ou nanosuperfícies podem ser engenheiradas para disparar um sinal elétrico ou químico em presença de um contaminante, tal como uma bactéria. Outros nanosensores funcionam disparando uma reação enzimática ou utilizando moléculas nanofabricadas, chamadas dendrímeros, que se ramificam como sondas para se ligarem a substâncias químicas e proteínas alvo.

Não é de surpreender que grande parte da pesquisa em nanosensores, financiada pelo governo, vise detectar quantidades ínfimas de agentes de guerra biológica, como antraz ou toxinas químicas, para deter ataques terroristas em solo dos EUA, bem como para alertar soldados em campo de batalha sobre possíveis riscos. Por exemplo, o projeto do governo dos EUA “SensorNet” objetiva lançar uma rede de sensores através de todos os EUA, que funcionará como um sistema rápido de alerta ante ameaças químicas, biológicas, radiológicas, nucleares e explosivas.⁶⁹ A SensorNet integrará sensores nano, micro e convencionais em uma única rede, que dará feedback dos dados a uma rede existente de 30.000 antenas de telefones celulares, formando a estrutura de uma rede nacional de vigilância sem paralelos. O Oak Ridge National Laboratory está agora testando a campo a SensorNet. Os laboratórios de defesa do governo dos EUA, tais como Los Alamos e Sandia estão eles próprios desenvolvendo os nanosensores.

Redimensionando Sensores: A tecnologia de sensores pode beneficiar empresas agrícolas de grande escala, altamente industrializadas, que já estão adotando tratores com GPS e outras técnicas da agricultura de precisão. Em última instância, os sensores provavelmente aumentarão a produtividade, farão cair os preços pagos aos produtores,

reduzirão a mão de obra e darão uma pequena vantagem no mercado global aos maiores operadores agroindustriais.

Não são os agricultores em pequena escala que se beneficiarão das omnipresentes redes de sensores, mas os gigantes comerciantes de grãos, como Cargill e ADM, que estão em posição de reunir dados de milhares de unidades de produção a fim de determinar que grãos serão cultivados, por quem e que preço será pago, dependendo da demanda do mercado e dos preços globais. Os sensores irão marginalizar os recursos mais particulares dos agricultores – seu conhecimento local mais íntimo em relação a lugares, clima, solos, sementes, cultivos e cultura. Em um mundo com monitoramento sem fio tudo isso fica reduzido a dados primários em tempo real, interpretados e valorados remotamente. Por que empregar agricultores inteligentes quando os sensores e computadores podem fazer as ‘unidades de produção inteligentes’ funcionar sem eles?

Estado atual do pó inteligente:

Atualmente disponível em: *Crossbow Technologies, Dust Inc., Ember, Millennial Net*

Quase chegando: *Motorola, Intel, Philips*

Tamanho Atual: *Os motes da Crossbow têm, atualmente, o tamanho de uma tampa de garrafa. Segundo o Executivo Chefe da Crossbow, Mike Horton, espera-se que o tamanho encolha ao de uma aspirina – ou até mesmo um grão de arroz – nos próximos anos.⁷⁰*

Preço Atual: *Os motes da Crossbow (todo o sensor de pó inteligente – processador, rádio, bateria e sensor) variam de US\$ 40 a US\$ 150, dependendo da quantidade encomendada. A Crossbow espera que os preços caiam abaixo de US\$ 10 num futuro próximo.⁷¹*

Usos Atuais: *Até agora o pó inteligente tem sido utilizado em:*

- **Navios petroleiros:** *O petroleiro de quase 300 metros, Loch Rannoch, operado pela BP (British Petroleum) no Atlântico Norte, foi equipado com 160 motes sensores sem fio, para medir as vibrações no motor do navio a fim de prever falhas em equipamentos. A companhia está também considerando o uso de redes de pó inteligente em 40 outros projetos nos próximos 3 anos.*

- **Habitats naturais:** *Na ilha Great Duck, na costa do Maine (EUA), uma rede de 150 motes sensores sem fio tem monitorado os microclimas dentro e ao redor de tocas utilizadas como ninhos pelas aves marinhas. O objetivo é desenvolver um kit que permita aos pesquisadores monitorarem a vida silvestre em risco e seus habitats de maneira não perturbadora nem destrutiva.⁷²*

- **Pontes:** *Em San Francisco (EUA) uma rede de motes sensores foi instalada para medir a vibração e estresse estrutural na Golden Gate Bridge, como forma de manutenção pró-ativa.⁷³*

- **Sequóias:** *Em Sonoma, Califórnia (EUA), os pesquisadores fixaram 120 motes em sequóias, a fim de monitorarem, sem fios e remotamente, o microclima ao redor das árvores, a partir de Berkeley, a mais de 70 km de distância.⁷⁴*

- **Supermercados:** *A Honeywell está testando o uso de motes para monitorar mercearias em Minnesota (EUA).⁷⁵*

- **Portos:** *O Departamento da Segurança Interna dos EUA planeja testar o uso de motes nos portos da Flórida e em contêineres de navios.⁷⁶*

A produção com alta tecnologia, por produtores em grande escala, usualmente significa preços deprimidos e dificuldades para aqueles que estão fora do circuito do agronegócio industrial, incluindo pequenos agricultores, povos tradicionais, povos indígenas e camponeses. À medida que os sensores encolhem para um tamanho menor do que as sementes, serão necessárias salvaguardas legais, de segurança e ambientais para evitar

abusos do pó inteligente, inclusive a vigilância de cultivos em outros países. Será o pó inteligente embalado junto com sementes patenteadas para policiar as práticas de cultivo dos agricultores e a submissão às patentes? Serão as sementes ou outros insumos das corporações entremeados com sensores baratos para que as companhias obtenham informações? Isso ocorreria de modo muito semelhante à forma como as companhias da Internet coletam dados confidenciais infectando computadores pessoais com programas e etiquetas invisíveis de monitoramento (conhecidos como 'spyware' e 'cookies').

Também pode haver pressão para que se utilizem as redes de sensores agrícolas como sistemas de vigilância civil, no interesse da 'segurança da pátria'. As redes de sensores sem fios – seja na agricultura ou em qualquer outra aplicação – ameaçam reprimir as dissidências e invadir a privacidade. Michael Mehta, sociólogo da Universidade de Saskatchewan (Canadá), acredita que o meio ambiente equipado com sensores múltiplos poderia destruir toda a noção de privacidade – criando um fenômeno que ele chama de 'panóptica nanoscópica' (i.e., ver tudo a partir da invisibilidade do diminuto), em que os cidadãos se sentem sob constante vigilância.⁷⁷ Em relatório recente, a Real Sociedade do Reino Unido também mostrou preocupações sobre a privacidade relacionada aos nanosensores:

“... dispositivos [de sensoriamento] poderiam ser utilizados de maneiras a limitar a privacidade individual ou de grupo através da vigilância secreta, coletando e distribuindo informações pessoais (tais como perfis de saúde ou genéticos), sem o adequado consentimento, e concentrando as informações nas mãos daqueles com recursos para desenvolver e controlar tais redes” – Royal Society, *“Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties”*.⁷⁸

Uma Resistência Contra a Exclusão

No início do século XIX, a noção de fazer agricultura sem a mão de obra camponesa era algo impensável. À medida que os trabalhadores rurais ingleses retornavam das guerras napoleônicas, no entanto, eles descobriam que uma nova era na agricultura industrial havia nascido, sem eles. Na sua ausência, a mão de obra havia sido substituída por trilhadeiras mecanizadas, fazendo cair os salários no campo e deixando os trabalhadores sem emprego nos meses de inverno. Nas “Revoltas Swing” de 1830-32 (assim chamadas por causa do líder mítico, Capitão Swing, numa referência ao movimento do gadanho manual - 'swing' em inglês quer dizer vai e vem), centenas de trilhadeiras mecânicas foram quebradas e queimadas no Sul da Inglaterra, na primeira ação de resistência popular, ainda que de curta duração, contra a agricultura industrial. Desde então, sucessivas ondas de tecnologia, dos tratores e colheitadeiras aos herbicidas e cultivos geneticamente manipulados, acercaram a agricultura aos ideais da indústria. A produção agrícola é um espelho cada vez mais fiel dos sistemas fabris, onde os trabalhadores agrícolas recebem pagamentos ínfimos tornando-se sub-empregados e, finalmente, desempregados.

Duas décadas antes das Revoltas Swing, trabalhadores têxteis ingleses especializados lutaram contra suas condições, cada vez mais desesperadas, de modo muito semelhante – quebrando as máquinas recém introduzidas. Teares a vapor e grandes estruturas de malharia permitiam que trabalhadores menos especializados produzissem artigos inferiores, deprimindo os salários e os preços. Os tecedores de algodão, os cardadores, os colhedores e fiandeiros – tecnoclastas mais conhecidos como Luditas – protestavam contra os baixos salários, o alto custo da comida e a ameaça à sua reputação de artesãos habilidosos.⁷⁹

O Comércio do Infinitesimal: Nanocommodities

Uma Roleta de Commodities: Em seu relatório de 2004, sobre nanotecnologia, a Lux Research Inc. ressalta o potencial da nanotecnologia em causar “mudanças drásticas nas cadeias de suprimentos e valores.”⁸⁰ No setor agrícola, as commodities e os meios de vida de mais de 1,3 bilhão de pessoas envolvidas na agricultura – metade da população que trabalha no mundo – correm perigo. As principais matérias-primas do Sul são particularmente vulneráveis: as fibras naturais como o algodão e a juta; bebidas tropicais (cacau, café, chá); óleos tropicais (coco, palma, etc.) e produtos agrícolas desde temperos exóticos até castanhas de caju e baunilha. De acordo com a UNCTAD, o valor das exportações dos produtos agrícolas primários no mundo em desenvolvimento é de US\$ 26,7 bilhões.⁸¹ As commodities e mercados do Norte também serão afetados à medida que os materiais desenvolvidos pela nanotecnologia deslocarem os materiais convencionais. No entanto, são geralmente as nações mais pobres e aquelas mais dependentes das exportações agrícolas que irão enfrentar as maiores perturbações pela adoção dos novos materiais nanoestruturados.

Não é a primeira vez que novas tecnologias ameaçam eliminar as commodities de produção primária nos países do Sul. Na década de 80, a biotecnologia prometia transferir a produção de muitas commodities tropicais para instalações de biofermentação no Norte. Por que trazer baunilha (ou borracha, cacau ou café) dos países tropicais, quando as culturas celulares podem ser levadas a produzir o mesmo produto nos laboratórios? Mas a fermentação produzia materiais de qualidade inconsistente e o custo da produção não podia competir com os preços sempre achatados, pagos aos produtores das commodities tropicais. Terá a nanotecnologia sucesso onde a biotecnologia falhou?

A seção seguinte trata mais profundamente dos impactos potenciais sobre os mercados de algodão e borracha dos nanoprodutos já à venda ou em desenvolvimento:

Nanofibras versus Algodão – Aperfeiçoando as Calças Perfeitas: Na comédia “O Homem do Terno Branco”, filmada em 1952, um cientista rebelde da área têxtil, papel desempenhado por Alec Guinness, inventa um tecido que não suja e nem se desgasta. Longe de dar as boas vindas a esta brilhante inovação, seus colegas de trabalho e patrões dão-se conta que o novo tecido maravilhoso é uma ameaça aos seus próprios empregos e negócios, e formam gangues para caçá-lo. Hoje, quando nanofibras e nanopartículas invisíveis são incorporadas em produtos “milagrosos” (inclusive roupas), o simbólico Terno Branco aparece com uma nova relevância.

Se há algo emblemático para a nanotecnologia comercial, são as calças. Lembrando os truques dos mascates, parece que todo o nano fã, em algum momento, saca suas mágicas nanocalças e derrama café sobre elas perante uma platéia divertida (se tudo correr bem o café escorre como bolinhas de mercúrio, sem manchar). Liderando o caminho da nanomoda encontra-se a norte americana Nano-Tex, 51% da qual pertence à Burlington Industries (BI). Em seus gloriosos dias, a BI era a maior empresa têxtil do mundo, mas, em 2001, entrou em falência. Quando Wilbur Roos comprou a BI por US\$ 620 milhões, em 2003 – derrotando o gigante do mercado Warren Buffet – seu plano para recuperar a empresa foi usar a tecnologia Nano-Tex nos tecidos da BI e licenciar a tecnologia a outras indústrias.⁸² Até agora, a Nano-Tex licenciou sua tecnologia para 40 tecelagens e seus nanotecidos foram incorporados, com sucesso, em roupas das mais conhecidas marcas do mundo – incluindo Eddie Bauer, Lee, Gap, Old Navy e Kathmandu.

A Nano-Tex engenheirou uma forma de aderir “nanofilamentos” às fibras têxteis usando nanoganchinhos. Esses filamentos impedem que os líquidos penetrem no tecido, tornando-o

resistente a manchas. Uma segunda tecnologia da Nano-Tex – “Coolest Comfort” – tenta reunir as qualidades dos tecidos sintéticos e do algodão natural (por exemplo, a textura e a capacidade de absorção de umidade do algodão com a leveza e a secagem rápida dos sintéticos). Uma terceira tecnologia – Nano-Touch – é uma fibra sintética manipulada em nível nanoscópico que tem a textura do algodão, mas é muito mais resistente. Conforme o fundador da Nano-Tex, “Esse será nosso produto que irá arrasar.”⁸³

Talvez um produto de arrasar para a Nano-Tex, mas não necessariamente boa notícia para as 100.000.000 de famílias no mundo, ocupadas com a produção do algodão – a maioria no Sul.⁸⁴ Como uma commodity, o algodão não tem ido muito bem nos últimos tempos. Um século de declínio no preço deve-se, em parte, às fibras sintéticas mais baratas que tomaram fatias do mercado. Essas fibras industrializadas variam desde o rayon, baseado na celulose (comercializado em 1891), às fibras derivadas do petróleo, da Dupont, tais como o nylon. Atualmente, apesar de colheitas recordes, o algodão responde por apenas 40% do total do consumo mundial de fibras, de cerca de 52 milhões de toneladas. Outras fibras naturais não tiveram melhor sorte: a lã responde por meros 2,5% e a seda por diminutos 0,2%. Estima-se que o uso total de fibras chegue a quase 60 milhões de toneladas pelo ano de 2010, mas a demanda por fibras artificiais está crescendo duas vezes mais rapidamente do que a por algodão – mesmo sem considerar os impactos potenciais dos novos nanotecidos.

Algodão: O Que está em Jogo?⁸⁵

- *O algodão é cultivado em mais de 100 países*
- *35 dos 54 países africanos produzem algodão; 22 são exportadores*
- *O valor da produção mundial de algodão foi de US\$ 24 bilhões em 2003*
- *Mais de 100 milhões de famílias estão ocupadas diretamente na produção do algodão*
- *Mais de um bilhão de pessoas estão envolvidas no setor do algodão em todo o mundo, incluindo mão de obra familiar e contratada para produzir, transportar, descarregar, enfardar e armazenar o algodão.*

Além dos nanotecidos da Nano-Tex, outros estão sendo desenvolvidos. Um grupo dirigido pelo químico Ray Baughman, na Universidade do Texas–Dallas, desenvolveu tecidos baseados em nanotubos de carbono que são 17 vezes mais resistentes que o Kevlar, e que também carregam uma carga elétrica, de modo que podem fazer funcionar equipamentos como telefones celulares.⁸⁶ Uma equipe na Clemson University, na Carolina do Sul (EUA), liderada pelo Prof. Nader Jalili, está desenvolvendo tecidos em nanofibra de carbono que pode gerar eletricidade à medida que o usuário se movimenta.⁸⁷

Em uma outra aplicação que está sendo desenvolvida pelo MIT juntamente com o instituto de nanotecnologias para soldados (Institute for Soldier Nanotechnologies), o professor de ciência dos materiais Yoel Fink desenvolveu nanofibras de vidro que exibem diferentes cores, dependendo da espessura dos fios, afetando potencialmente o mercado de corantes para o vestuário. Fink e seus colegas imaginam que seus nanofios de vidro, tecidos em roupas, permitirão que os usuários alterem a cor delas quando quiserem - um sóbrio cinza para uma reunião de negócios ou um brilhante fúcsia para encontros à noite. Primeiro, talvez dentro de dois anos, o Exército dos EUA tecerá os nanofios nos uniformes militares, para auxiliar os soldados a distinguirem entre ‘nós’ e ‘eles’.⁸⁸

Nanopartículas versus Borracha

A borracha, assim como o algodão, é uma commodity agrícola produzida em sua forma natural basicamente por produtores no Sul, em países como Índia, Indonésia, Tailândia e Malásia. Ao contrário do algodão, a borracha natural tem se mostrado mais resiliente ao desafio dos seus similares sintéticos, desenvolvidos durante a II Guerra Mundial. Apesar de 75% da borracha mundial ser sintética em 1964, a introdução dos pneus radiais ajudou a reviver o mercado da borracha natural. Em 2004, a produção mundial total de borracha é estimada em 19,61 milhões de toneladas, das quais 8,26 milhões serão de borracha natural (42%).⁸⁹

Borracha – O Que Está em Jogo?

- *As exportações de borracha natural pelo Sul estavam avaliadas em US\$ 3,6 bilhões em 2000. Os cinco maiores produtores mundiais são Tailândia, Indonésia, Índia, Malásia e China.*
- *A Tailândia responde por mais de 1/3 da borracha natural mundial.*⁹⁰
- *90% da borracha da Tailândia provém de unidades de produção com menos de 4 hectares. Estima-se que 6 milhões de agricultores produzem borracha natural na Tailândia.*⁹¹

Atualmente, cerca de 50% de um pneu para automóvel é feito de borracha natural.⁹² Pequenas partículas de negro de fumo (inclusive nanopartículas) têm sido há longo tempo misturadas à borracha para aumentar a resistência dos pneus e reduzir seu desgaste. Muitos dos principais fabricantes de pneus estão desenvolvendo nanopartículas engenheiradas para estender ainda mais a vida útil dos pneus. Cabot, uma das líderes mundiais na produção de borracha para pneus, testou com sucesso nanopartículas de carboneto de sílica “PureNano”, desenvolvidas por Nanoproducts Corporation of Colorado. Adicionadas aos pneus, as partículas “PureNano” reduziram a abrasão em quase 50% - um melhoramento simples que, se amplamente adotado, deverá fazer os pneus durarem até duas vezes mais e, assim, reduzir significativamente a necessidade de novos pneus de borracha. Hoje em dia, 16,5 milhões de pneus são recauchutados por ano, só nos EUA.⁹³ Presume-se que essa quantidade seria reduzida quase pela metade. Outras companhias estão procurando incorporar nanotubos de carbono, e alardeiam que esses pneus durariam mais do que todo o carro. Segundo rumores no Vale do Silício, um fabricante de contraceptivos está também considerando a possibilidade de adicionar nanotubos de carbono para, de forma semelhante, reforçar as camisinhas.⁹⁴

Também se buscam alterações nanoscópicas na estrutura interna dos pneus. Companhias como Inmat e Nanocor produzem nanopartículas de argila que podem ser misturadas com plásticos e borracha sintética para criar uma superfície a prova de vazamento de ar. A nanoargila da Inmat já está sendo usada como selante em bolas de tênis “double core”, produzidas pelo fabricante de materiais esportivos Wilson. Dizem que as bolas *Double Core* rebatem duas vezes mais porque as nanopartículas vedam a saída do ar de forma mais eficiente. A Inmat, criada inicialmente em cooperação com a Michelin, a maior fabricante mundial de pneus, acredita que a mesma tecnologia poderia ser usada para selar o interior dos pneus, reduzindo a quantidade de borracha butílica necessária e tornando os pneus mais leves, mais baratos e com menor aquecimento ao rodar.⁹⁵

O verdadeiro troféu é substituir a borracha natural de uma vez por todas. Uma opção é um nanomaterial super leve, conhecido como um aerogel, que foi sugerido como um material

sólido para os pneus do veículo que rodou na superfície de Marte (acabaram usando pneus normais). Como o nome sugere, aerogéis são basicamente compostos de ar (98%) – bilhões de nanobolhas de ar em uma matriz de sílica.⁹⁶ Além de serem leves, os aerogéis são extremamente resistentes ao calor e excepcionais isolantes. Químicos da Universidade do Missouri – Rolla (EUA) afirmam ter desenvolvido um novo aerogel à prova d'água que poderia ser usado no lugar da borracha para pneus.⁹⁷ Pelo menos uma companhia de pneus, a Goodyear, detém uma patente de um pneu que incorpora aerogéis de sílica na banda de rodagem.⁹⁸ O mercado global de pneus é dominado por cinco multinacionais: Michelin, Bridgestone, Goodyear, Continental e Sumitomo. Em 2001, as 5 maiores fabricantes responderam por mais de 2/3 das vendas globais de pneus.⁹⁹

A Criação de Novas Nanocommodities: À medida em que a produção em massa de nanomateriais aumenta para quantidades de muitas toneladas, novos métodos de produção estão surgindo que poderão abrir novos mercados para matérias-primas de origem agrícola – ainda que em quantidades muito pequenas:

Fiando um fio nanométrico: Cientistas na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, estão testando métodos para fabricar nanotubos de carbono a partir de etanol de milho.¹⁰² Enquanto a maioria dos processos de fabricação de nanotubos utiliza petróleo ou grafite como matéria-prima, o Dr. Alan Windle e sua equipe injetam etanol numa corrente de fluxo rápido de hidrogênio gasoso que é levado a um forno a 1000°C. A alta temperatura fraciona o etanol e os átomos de carbono se reagrupam em nanotubos, cada um com cerca de 1 micrômetro de comprimento, que flutuam na corrente de hidrogênio, frouxamente ligados uns aos outros como uma “fumaça elástica”. Os nanotubos são então retirados dessa nuvem amorfa, de forma semelhante como uma roca fia as fibras da lã. Este método permite fazer fios contínuos de nanotubos de carbono de até 100 metros de comprimento, apesar de atualmente com uma qualidade muito baixa.

Não é apenas o etanol de milho que pode ser convertido em nanofibras úteis. Na Cornell University, uma outra equipe está refinando um processo mais antigo chamado de “eletrofiação”.¹⁰³ Nesse método, celulose vegetal é dissolvida em um solvente e depois espremida com uma corrente elétrica através de um orifício, produzindo uma fibra de menos de 100 nm de diâmetro. Os cientistas buscam, agora, alterar as propriedades dessas nanofibras para aumentar sua resistência.

De acordo com Margaret Frey, professora assistente de têxteis na Cornell University, “a celulose é o mais abundante polímero renovável na terra. Ela forma a estrutura de todos os vegetais. Apesar de os pesquisadores terem previsto que, a partir dela, poderiam ser feitas fibras com resistência próxima à do Kevlar, ninguém ainda o conseguiu.”¹⁰⁴

Os pesquisadores de Cornell estão estudando a recuperação de celulose de sobras descartadas na produção de algodão, mas, teoricamente, eles poderiam colher a celulose de quaisquer resíduos vegetais.¹⁰⁵ Isso pode ser uma boa notícia para as indústrias têxteis, que teriam como buscar resíduos vegetais baratos, mas é improvável que venha a ser uma vantagem econômica para os agricultores já que a celulose é abundante.

Alimentos = Os materiais Nano Estruturados pela Natureza

Em um artigo recente na publicação *Nature Materials*, uma pesquisadora no Cavendish Laboratory da Universidade de Cambridge instou seus colegas de pesquisa de materiais a considerar a agricultura não como uma “fonte de matérias-primas com uma composição essencialmente incontrolável”, mas como uma “rica e diversa categoria de materiais”, muitos dos quais “combinações de nanoestruturas, nas quais o auto-agrupamento poderá ter um papel chave.”¹⁰⁰ Athene Donald ressalta que a variabilidade das matérias-primas, uma característica inevitável de todos os produtos naturais devido a diferenças regionais de solo, clima e cultivares, produzem ingredientes “não confiáveis” que os nanotecnólogos serão capazes de tornar mais uniformes, estáveis e até mais nutritivos. Reconhecendo que, ao menos na Europa, “a ciência perdeu para a emoção” no debate sobre os organismos geneticamente modificados, a autora tem grandes esperanças de que a nanotecnologia “melhore as matérias-primas” de um modo que será aceito pelo público.¹⁰¹

Cultivo de Partículas: No futuro, as nanopartículas industriais poderão não ser produzidas num laboratório, mas em áreas de cultivos geneticamente engenheirados – o que poderia ser chamado de “cultivo de partículas”. É sabido, já há algum tempo, que as plantas podem usar suas raízes para extrair nutrientes e minerais do solo, mas algumas pesquisas da Universidade do Texas – El Paso confirmam que as plantas podem também absorver nanopartículas, as quais poderiam ser colhidas em nível industrial. Em um experimento com cultivo de partículas, alfafa foi cultivada em um solo artificialmente rico em ouro, em terrenos da universidade. Quando os pesquisadores examinaram as plantas, encontraram nanopartículas de ouro nas raízes e ao longo de toda a planta, e que tinham propriedades físicas iguais às produzidas usando técnicas químicas convencionais, mais caras e nocivas ao meio ambiente.¹⁰⁶ As nanopartículas dos metais são extraídas simplesmente dissolvendo-se o material orgânico.

Os experimentos iniciais mostraram que as partículas de ouro se agruparam em formas aleatórias. A alteração da acidez do meio de cultivo parece resultar em formas mais uniformes.¹⁰⁷ Os pesquisadores agora estão trabalhando com outros metais e com trigo e aveia, além da alfafa, para produzir nanopartículas de prata, európio, paládio, platina e ferro.¹⁰⁸ Para produção em escala industrial, os pesquisadores especulam que as plantas para partículas podem ser cultivadas em recintos fechados, em solos enriquecidos com ouro, ou podem ser cultivadas nas cercanias de minas de ouro abandonadas.¹⁰⁹

Enquanto isso, pesquisadores em nanobiotecnologia no National Chemistry Laboratory em Puna, Índia, têm realizado trabalho similar com folhas de gerânio imersas em solução rica em ouro.¹¹⁰ Após 3 a 4 horas, as folhas produzem partículas de 10 nm, na forma de bastões, esferas e pirâmides as quais, de acordo com o pesquisador Murali Sastry, parecem tomar forma segundo os compostos aromáticos nas folhas. Alterando-se tais compostos aromáticos, Sastry acredita que será possível alterar a forma das nanopartículas (e suas propriedades).

Redimensionando Os Impactos da Roleta das Commodities: É muito cedo para mapear com segurança a forma como essa nova economia, baseada em partículas nanométricas desenhadas alterará a produção de commodities agrícolas tradicionais – mas está claro que isso irá acontecer. Com as patentes e a inovação nanotecnológicas, impulsionadas pelo Norte (especialmente EUA), haverá um empurrão para substituir commodities tropicais como a borracha e algodão de alta qualidade por matérias-primas mais baratas que possam ser obtidas e manipuladas mais perto de casa (milho, aveia, sobras de algodão). Não estamos

defendendo que o *status quo* deva ser mantido, ou que os camponeses e trabalhadores rurais devam ficar para sempre dependentes dos notoriamente instáveis produtos de exportação. A questão é que a tecnologia do diminuto trará perturbações socioeconômicas titânicas, para as quais a sociedade está mal preparada. Como sempre, são os pobres os mais vulneráveis.

Novos nanomateriais poderiam trazer benefícios ambientais. Por exemplo, a redução na quantidade de pneus usados poderia reduzir a carga dos pneus jogados em lixões e aterros. Os nanocéticos notarão, entretanto, que os nanomateriais desenhados para substituir a borracha natural poderiam trazer novos problemas no descarte e novos contaminantes ao meio ambiente.

A curto prazo, agricultores industriais bem posicionados, capazes de suprir grandes quantidades de celulose, podem encontrar um novo nicho de mercado e uma renda adicional, com o que antes era considerado lixo. E talvez, em algum momento, os mercados de etanol poderão ter um auge, mas mesmo os produtores norte-americanos estariam enganados se pensarem que vão entrar no coração da nova nanoeconomia. Se a fiação de nanofibras da celulose ou do etanol realmente decolar, os verdadeiros ganhadores serão os grandes processadores de grãos, que poderão oferecer essas commodities por preço mais barato.

Extraír nanopartículas de solo rico em minerais, através do cultivo de plantas especialmente reproduzidas ou engenheiradas, poderia tornar-se significativo para regiões mais pobres, especialmente as que contarem com economias de mineração. Se a extração de minerais tornar-se possível utilizando-se plantas para processamento de partículas, isso poderia fornecer uma alternativa para uma ocupação de risco, e dar novas alternativas de renda para nações em desenvolvimento. Mas o cultivo de partículas não é uma perspectiva que pareça ser adequada a agricultores em pequena escala. Recapturar e caracterizar nanopartículas requer instalações de alta tecnologia para seu processamento, de um tipo não disponível a produtores em pequena escala. É também uma perspectiva que poderia afetar significativamente os padrões de uso do solo, com as terras anteriormente marginalizadas tornando-se procuradas para cultivo de partículas de minerais raros – um processo que poderia deslocar culturas tradicionais e afetar ecologias sensíveis. A liberação de plantas geneticamente engenheiradas para melhorar a produção de nanopartículas poderia intensificar as inquietudes atuais com a biossegurança; é também preocupante a perspectiva de que cultivos contendo nanopartículas bioativas se misturem com os suprimentos alimentares.



Outros nanomateriais que invadem o campo de forma invisível: Vários projetos ao redor do mundo exploram o uso de nanopartículas nos cultivos para fins que não o desenvolvimento de agrotóxicos – da intensificação de fotossíntese à melhor germinação e manejo do solo.

- **Um fertilizante a base de fulerenos?** Pesquisadores na Universidade de Kyoto (Japão) descobriram um método de produzir amônia utilizando fulerenos (*buckyballs*). A amônia é um componente-chave dos fertilizantes, mas não está claro se o produto resultante para uso a campo conteria esses *buckyballs*.¹¹¹
- **Nanomistura de TiO₂:** Cientistas na Universidade da Coréia requereram patente para uma mistura líquida constituída por nanopartículas de dióxido de titânio que eles alegam destruirá pragas nocivas, intensificará a fotossíntese e estimulará o crescimento quando aplicada em arrozais.¹¹²
- **Semeando Ferro:** A Academia Russa de Ciências relata que foram capazes de melhorar a germinação de sementes de tomate, aspergindo uma solução de nanopartículas de ferro nos cultivos.¹¹³
- **Aglutinante de Solo:** Em 2003, o Grupo ETC informou sobre um aglutinante de solo baseado em nanotecnologia chamado de SoilSet, desenvolvido por Sequoia Pacific Research, de Utah, EUA.¹¹⁴ O SoilSet é uma cobertura de solo de colocação rápida que se baseia em reações químicas em escala nanométrica para aglutinar o solo. Ela foi pulverizada sobre 1.400 acres na montanha de Encebado, Novo México, para evitar a erosão após incêndios florestais, bem como em áreas menores afetadas por queimadas de florestas no Condado de Mendocino, Califórnia.
- **Limpeza de Solo:** Várias perspectivas estão sendo trabalhadas para aplicar nanotecnologia e, especialmente, nanopartículas na limpeza de solos contaminados com metais pesados e PCBs. O Dr. Wei-xang Zhang foi pioneiro em um método de limpeza nanoscópico, injetando ferro em escala nanométrica em um local contaminado.¹¹⁵ As partículas fluem com a água do solo descontaminando-o na sua passagem, o que é muito menos oneroso do que remover o solo para tratá-lo. Os testes do Dr. Zhang com ferro em escala nanométrica mostram níveis de contaminação significativamente mais baixos após um ou dois dias. Os testes também mostram que o ferro em escala nanométrica permanecerá ativo no solo por 6 a 8 semanas, tempo após o qual se dissolve nas águas subterrâneas tornando-se indistinguível do ferro que ocorre naturalmente.

Nanofármacos para Animais

Os rebanhos domésticos e os peixes também serão afetados pela revolução nanotecnológica. Enquanto as grandes esperanças da nanomedicina são o diagnóstico de enfermidades e novos produtos farmacêuticos para os seres humanos, as aplicações veterinárias da nanotecnologia poderão tornar-se campos de prova para técnicas não experimentadas e mais controversas – das vacinas em nanocápsulas à seleção de sexo na reprodução.

Biochips: Utilizando *biochips*, amostras biológicas, por exemplo, de sangue, tecidos e sêmen podem ser analisadas e manipuladas instantaneamente. Em menos de 5 anos, os *biochips* se tornaram uma tecnologia padrão para a genômica e descoberta de fármacos e agora estão indo para aplicações comerciais em cuidados de saúde e de segurança de alimentos.

Um *biochip* (ou microarranjo) é um dispositivo tipicamente feito de centenas ou milhares de pequenas seqüências de DNA artificial depositadas com precisão sobre um circuito de sílica. Em arranjos de DNA, cada seqüência de DNA age como uma sonda seletiva e, quando se liga ao material numa amostra (por exemplo, sangue), um sinal elétrico é gravado.

Semelhante à busca de uma palavra num texto, o *biochip* é capaz de informar sobre as seqüências genéticas encontradas, com base nas sondas de DNA instaladas dentro dele. Os *biochips* mais conhecidos são os produzidos pela Affymetrix, a companhia que foi pioneira na tecnologia e foi a primeira a produzir um *chip* de DNA que analisa um genoma humano completo em um único *chip* do tamanho de uma pequena moeda.¹¹⁶

Além dos *biochips* de DNA, há outras variações que detectam diminutas quantidades de proteínas e químicos em uma amostra, o que os torna úteis para detectar agentes de guerra biológica ou doenças. Companhias como Agilent (Hewlett-Packard) e Motorola têm comercialmente disponíveis máquinas para analisar *biochips*, do tamanho de uma impressora a jato de tinta - cada uma capaz de processar até 50 amostras em cerca de meia hora.

Chips podem ser usados para o diagnóstico precoce de doenças em animais. Pesquisadores na Universidade de Pretória, África do Sul, por exemplo, estão desenvolvendo *biochips* que detectarão enfermidades comuns transmitidas por carrapatos.¹¹⁷ Os *biochips* também podem ser usados para rastrear a origem de alimentos e forragens. Por exemplo, o *chip* "FoodExpert-ID" da bioMérieux rapidamente testa alimentos para detectar a presença de produtos de origem animal de 40 espécies diferentes, como meio de localizar a fonte de patógenos – uma resposta às ameaças à saúde pública como a gripe asiática ou doença da vaca louca.¹¹⁸

Um dos objetivos é tornar os *biochips* funcionais para fins de reprodução animal. Tendo atrás de si o mapeamento do genoma humano, os geneticistas estão podendo seqüenciar rapidamente os genomas de bovinos, ovinos, aves, suínos e outros animais de criação, com a esperança de identificar seqüências de genes relacionados com traços de valor comercial, tais como resistência a enfermidades e carnes magras. Mediante a inclusão de sondas para tais traços nos *biochips*, será possível identificar com rapidez reprodutores campeões e descartar doenças genéticas.

Micro e Nanofluídicos:

A microfluídica é a mais nova plataforma da tecnologia na mesma escala que os *biochips*. Os sistemas micro e nanofluídicos analisam pelo controle do fluxo de líquidos ou gases através de uma série de diminutos canais e válvulas. Dessa forma classificam de maneira muito semelhante a como um circuito de computador classifica os dados através de fios e de barreiras lógicas. Os canais microfluídicos, quase sempre gravados em sílica, podem ter uma largura de menos de 100 nm. Isso lhes permite lidar com materiais biológicos como DNA, proteínas ou células, em quantidades mínimas – usualmente nanolitros ou picolitros (1000 vezes menor do que um nanolitro). A microfluídica não apenas permite uma análise bastante precisa, mas também abre o potencial para a manipulação de matéria viva, misturando, separando e manuseando diferentes componentes em escala nanométrica.

A microfluídica está sendo utilizada na reprodução de animais para classificar fisicamente esperma e óvulos. Líder nesse campo é a XY Inc., do Colorado (EUA), que está usando uma técnica microfluídica chamada de citometria de fluxo, para segregar espermatozoides com características masculinas ou femininas para fins de seleção de sexo. A XY conseguiu criar cavalos, gado, ovelhas e porcos com escolha de sexo, e atualmente disponibiliza tecnologia para criadores comerciais. A Arrynx, uma empresa nova em nanotecnologia, que desenvolveu um novo sistema microfluídico chamado MatRyx, utiliza uma nanotécnica na qual diminutos raios laser de arrasto capturam espermatozoides individuais e depois os classificam por peso. O MatRyx pode classificar cerca de 3000 espermatozoides por

segundo, e visa a comercialização para a reprodução de gado. “Dessa forma, os produtores de gado leiteiro poderão ter vacas e os de gado de corte poderão ter bois com mais carne”, explica o Executivo Chefe da Arrayx, Lewis Gruber.¹¹⁹ Seu objetivo é produzir um seletor de sexo de um único botão.

Matthew Wheeler, professor de ciência animal na Universidade de Illinois (EUA), foi mais longe ao desenvolver um dispositivo microfluídico que não apenas segrega espermatozoides e óvulos mas, também, os coloca juntos de um modo que mimetiza o movimento da reprodução natural e, depois, maneja o embrião resultante. Segundo o Dr. Wheeler, tal técnica tornaria a produção em massa de embriões mais barata, rápida e confiável.¹²⁰ Junto com seus colegas, iniciou uma companhia *spin-off*, Vitelle, para comercializar essa tecnologia.

Nanomedicina Veterinária: O campo da nanomedicina oferece promessas de novos diagnósticos e curas, bem como de meios para melhorar o desempenho humano, que são de tirar o fôlego. A fundação nacional de ciência dos EUA (US National Science Foundation) espera que a nanotecnologia responda por cerca da metade de todas as vendas da indústria farmacêutica em 2010. O que é menos propagandeado é que o mesmo impacto atingirá também o mercado da saúde animal – tanto na medida em que as nanotecnologias mostrem o seu valor na medicina humana quanto como campo de provas para enfoques mais controversos à nanomedicina, tais como o uso de nanocápsulas de DNA. Companhias como a SkyePharma, IDEXX e Probiomed estão atualmente desenvolvendo aplicações veterinárias de nanopartículas. Uma avaliação completa de como as companhias farmacêuticas estão usando a nanotecnologia no desenvolvimento e liberação de fármacos fica fora do alcance deste relatório. Resumidas de maneira breve, abaixo estão algumas das tecnologias-chave que também são aplicáveis aos produtos farmacêuticos de uso animal:

Descoberta de Fármacos: A capacidade para formar imagem e isolar moléculas biológicas na nanoescala abre as portas para desenvolver fármacos mais precisos, para um rastreamento genômico mais rápido e para avaliar componentes quanto à sua funcionalidade como fármacos. As companhias farmacêuticas estão particularmente interessadas na utilização de *biochips* e dispositivos microfluídicos (vide acima) para testar tecidos buscando diferenças genéticas, de maneira que possam desenvolver fármacos geneticamente apropriados (farmacogenômica).¹²²

Diagnóstico de Enfermidades: As nanopartículas, capazes de se moverem facilmente pelo corpo, podem ser usadas para diagnóstico. De particular interesse são os pontos quânticos - nanocristais de selenito de cádmio que se tornam fluorescentes em diferentes cores, dependendo de seus tamanhos. Os pontos quânticos podem ser funcionalizados para marcar diferentes componentes biológicos, como proteínas ou filamentos de DNA, com cores específicas. Dessa forma, uma amostra de sangue pode ser rapidamente testada quanto a determinadas proteínas que poderão indicar uma maior propensão à doença. Um efeito similar pode ser conseguido com nanocápsulas de ouro, diminutas esferas de vidro recobertas com uma camada de ouro que mudam de cor conforme a espessura do ouro. Tanto as nanocápsulas como os pontos quânticos podem ser desenhados para ligar-se a tumores e células malignas quando introduzidos no corpo, permitindo serem mais precisamente identificadas. Cientistas na Rice University, que foram pioneiros nessa técnica, mostraram, também, em animais, que as nanocápsulas podem ser aquecidas por lasers, de forma que destruam seletivamente os tecidos enfermos aos quais aderem, sem danificar a pele ou o tecido sadio próximo. Essa tecnologia foi licenciada comercialmente a uma nova empresa chamada Nanospectra.¹²³

Novos Mecanismos de Liberação: Os próprios fármacos começam a encolher. As estruturas em nanodimensão têm a vantagem de poder passar despercebidas pelo sistema imunológico e através de barreiras (p.ex. a barreira sangue-cérebro, ou a parede estomacal) que o corpo utiliza para manter fora substâncias indesejadas.

Compostos farmacêuticos reformulados como nanopartículas não apenas podem alcançar partes do corpo que as formulações atuais não conseguem, mas sua grande área superficial pode também torná-los mais ativos biologicamente. O aumento da biodisponibilidade significa que seriam necessárias concentrações mais baixas de dispendiosos compostos farmacêuticos, com efeitos colaterais potencialmente menores.¹²⁴ As nanopartículas também podem ser usadas como portadoras para introduzir clandestinamente compostos no corpo. As principais companhias nanofarmacêuticas, tais como SkyePharma e Powderject (atualmente uma subsidiária integral da Chiron), desenvolveram métodos de liberar fármacos desenhados com nanopartículas através da pele ou por inalação. Pesquisadores na Flórida estão trabalhando em sistemas de nanoliberação que espalham fármacos através do olho a partir de lentes de contato especialmente impregnadas. Como na aplicação de agrotóxicos, o grande interesse está na 'liberação controlada'. Muitas das grandes companhias farmacêuticas e de fármacos para animais que trabalham com nanofármacos estão utilizando tecnologias de encapsulação, como as nanocápsulas, para introduzir compostos ativos no corpo. As cápsulas podem ser funcionalizadas para aderirem a lugares específicos no corpo, ou serem ativadas por um gatilho externo, tal como pulsos magnéticos ou ultra-som. O Departamento de Agricultura dos EUA [USDA] compara esses fármacos em nanocápsulas funcionalizadas, chamadas "Sistemas Inteligentes de Liberação", ao sistema postal, onde "rótulos com endereço" com codificação molecular garantem que o produto farmacêutico empacotado chegue ao seu destino pretendido.¹²⁵

Além de cápsulas, outros nanomateriais utilizados para a liberação de fármacos incluem:

- **BioSilicon** é um produto em nanomaterial baseado em sílica, altamente poroso, que pode liberar lentamente um medicamento durante um período de tempo. Desenvolvido pela companhia australiana pSivida, que usa sua tecnologia conhecida como BioSilicon para moldar minúsculas cápsulas (para serem engolidas) e também diminutas agulhas que podem ser construídas como um esparadrapo para, de forma invisível, perfurar a pele e liberar os fármacos.¹²⁶
- **Fulerenos**, as assim denominadas "moléculas milagrosas" da nanotecnologia (como já mencionado, *buckyballs* e nanotubos de carbono estão incluídos nessa classe de moléculas), são gaiolas ocas de 60 átomos de carbono, com menos de dois nanômetros de largura. Por serem ocas, as companhias farmacêuticas estão tentando encher os fulerenos com compostos de fármacos e depois funcionalizá-los para aderirem a diferentes partes do corpo.
- **Dendrímeros** são moléculas ramificadas com uma estrutura em forma de árvore e estão se tornando uma das mais populares ferramentas na nanotecnologia. Devido à sua forma e tamanho nanoscópico, os dendrímeros têm três vantagens na liberação de fármacos: primeiro, podem reter moléculas de fármacos em sua estrutura e servir de veículo de liberação; segundo, podem penetrar nas células com facilidade e liberar fármacos no alvo; terceiro, e mais importante, os dendrímeros não disparam respostas do sistema imunológico. Dendrímeros podem também ser usados para análise química e diagnóstico – abrindo a possibilidade futura de moléculas sintéticas que possam localizar, diagnosticar e tratar tumores ou outras células doentes.

- **Nanocápsulas de DNA** introduzem seqüências de DNA viral dentro de células. Quando a cápsula decompõe-se, o DNA seqüestra o mecanismo celular que produz compostos que se ativariam ante um ataque viral, dessa forma alertando e treinando o sistema imunológico para reconhecê-los. A tecnologia de nanocápsulas de DNA poderia também ser usada para seqüestrar células vivas para produzir outros compostos, tais como novas proteínas ou toxinas. Como resultado, elas devem ser cuidadosamente monitoradas como uma potencial tecnologia de guerra biológica.

Redimensionando Nanofármacos: A nanotecnologia pode oferecer à indústria farmacêutica a chave para desencadear uma torrente de novos e antigos compostos de fármacos. Não só os lucros e patentes estão para ser incrementados pelo encolhimento dos fármacos existentes à escala nanométrica, mas existe também a oportunidade de ressuscitar fármacos que anteriormente falharam nos testes clínicos quando em tamanho maior. Ao encapsular compostos farmacologicamente ativos e propagar que eles serão dirigidos a um local específico do corpo, as companhias podem alegar que os efeitos colaterais gerais não mais são uma preocupação, e que estudos anteriores sobre segurança não mais têm relevância.

Os produtos farmacêuticos em escala nanométrica, aprovados para uso animal, também devem ser cuidadosamente testados e monitorados para evitar que entrem na cadeia alimentar. Todavia não está claro como nanopartículas persistem e se movimentam no corpo, nem se elas podem migrar para o leite, ovos e carne. É necessário que as autoridades reguladoras reavaliem as atuais drogas farmacêuticas de uso animal se elas forem re-formuladas em nanoescala, já que as propriedades dos materiais podem se alterar nesse tamanho.

Pequenas Partículas para Frangos:

Campylobacter jejuni é um grupo de bactérias espiraladas que causam câibras abdominais e diarreia sanguinolenta nos humanos, e são usualmente contraídas de produtos avícolas contaminados. Com os patógenos ganhando níveis alarmantes de resistência aos antibióticos tradicionais, a indústria avícola está se voltando para a nanotecnologia em busca de novos meios de combater bactérias patogênicas como a *Campylobacter*. Na Clemson University (Carolina do Sul, EUA), pesquisadores financiados pelo USDA tem feito experiências com nanopartículas de poliestireno especialmente projetadas para combater contaminações em estabelecimentos rurais. As nanopartículas são ingeridas pelos frangos e são desenhadas para aderir-se à *Campylobacter* no trato digestivo das aves. Os pesquisadores esperam que as partículas desalojem as bactérias do intestino sendo então eliminadas com as fezes, reduzindo a taxa de contaminação das aves enviadas para processamento.¹²⁷ De acordo com o pesquisador de Clemson, Dr. Robert Latour, a segurança e eficácia do método estão sendo testadas em um pequeno número de animais.¹²⁸

Rebanhos Inteligentes: O rastreio dos animais tem sido um problema para os criadores bem antes que a Mariazinha perdesse seu cordeirinho. Nano-Mariazinha, entretanto, não teria tais problemas. Assim como as tecnologias convergentes na produção agrícola usarão redes de nanosensores para monitorar continuamente a saúde das plantas, também os sensores monitorarão os animais. O USDA prevê o surgimento de 'rebanhos inteligentes' – vacas, ovelhas e porcos dotados de sensores e localizadores, que enviam dados sobre sua saúde e localização geográfica a um computador central.

Esta é a visão da agricultura de precisão nos cascos dos animais. O objetivo de longo prazo não é apenas monitorar, mas também intervir automática e autonomamente com produtos

farmacêuticos, usando pequenos dispositivos de liberação de fármacos que possam ser implantados nos animais, antecipando-se à doença. A noção de vincular sensores implantados a sistemas inteligentes de liberação tem sido chamada de “o princípio da injeção de combustível”, uma vez que mimetiza a forma como os carros modernos usam sensores para injetar combustível no motor. A aplicação mais próxima a ser comercializada são os dispositivos implantáveis de liberação de insulina, ou *chips* de medicamento, que estarão vinculados a sensores de glicose para tratamento da diabetes (humana), regulando automaticamente os níveis de açúcar no sangue. Com o tempo, isso poderia se tornar o modelo para toda a liberação de fármacos, tanto em humanos como em animais.

Uma das atuais barreiras aos dispositivos médicos implantáveis é que os materiais que os compõem (p.ex. metal ou plásticos) são, freqüentemente, incompatíveis com os tecidos vivos. Novos materiais, engenheirados em escala nanométrica para serem biocompatíveis, buscam solucionar esse problema.

Redimensionando a Nanocriação de Animais: Implantar dispositivos de rastreamento em animais não é novidade – já se usam em animais de estimação, animais de criação de grande valor, ou para a conservação da fauna silvestre. *Microchips* injetáveis já são utilizados de diversas maneiras, com o objetivo de melhorar o bem-estar e a segurança dos animais – para estudar o comportamento animal na natureza silvestre, para rastrear produtos animais até suas origens, ou para reunir animais perdidos a seus guardadores humanos. Entretanto, dotar animais rurais de sensores, *chips* de fármacos e nanocápsulas, na era da nanotecnologia expandirá ainda mais a visão dos animais como unidades de produção industrial. Os animais provavelmente também serão usados para experimentos menos agradáveis ou de maior risco, cujas aplicações posteriormente poderiam ser estendidas aos seres humanos. O uso de microfluídicos na reprodução de rebanhos tende a acelerar a uniformidade genética das espécies animais e também abre a possibilidade de, futuramente, aplicarem-se novas tecnologias nano-eugênicas aos humanos. A possibilidade de controlar remotamente pode ter efeitos adversos em rebanhos que passem períodos mais prolongados sem os cuidados diretos dos humanos.

As mesmas tecnologias transferidas aos humanos trazem à tona profundas implicações na qualidade de vida e nas liberdades civis. Em outubro de 2004, a FDA [Administração de Alimentos e Drogas] dos EUA aprovou o uso de *microchips* implantáveis em humanos, para proporcionar um acesso facilitado aos registros médicos de um indivíduo – a primeira aprovação de *microchips* para uso médico nos Estados Unidos.¹²⁹

Como os cuidados com a saúde estão sendo determinados cada vez mais pela busca de lucros, o uso futuro de *chips* implantáveis para a liberação automatizada de fármacos pode tornar-se economicamente preferível aos cuidados de pessoal de enfermagem. Ao atender idosos ou aqueles com diferentes capacidades cognitivas, ou com qualquer condição que exija tratamento regular, poderão surgir questões éticas sobre quem toma a decisão de submeter um indivíduo a uma ‘injeção de combustível’. A liberação automatizada de fármacos poderia permitir a algumas pessoas viver de modo independente, ao invés de internadas. No entanto, a ausência de pessoas que as atendam constitui também um fator a considerar.

Nano Aquacultura: A área de produção animal que mais cresce no mundo é o cultivo de peixes, crustáceos e moluscos, especialmente na Ásia. De acordo com a FAO, havia uma produção de 45,7 milhões de toneladas em aquacultura em 2000, e o seu crescimento é de mais de 9% ao ano.¹³⁰ Com uma forte tradição em adotar novas tecnologias, a altamente integrada indústria de cultivo de peixes poderá estar entre as primeiras a incorporar e comercializarem produtos da nanotecnologia. As aplicações emergentes incluem:

- **Limpeza de tanques de cultivo de peixe:** Altair Nanotechnologies, de Nevada (EUA), fabrica um produto de limpeza de água para piscinas e tanques de peixes chamado “NanoCheck”. Ele utiliza partículas de 40 nm de um composto baseado em lantânio, que absorve os fosfatos da água e evita o crescimento de algas. O NanoCheck está atualmente sendo testado em larga escala em piscinas e espera-se que a Altair lance um limpador de piscinas no início de 2005.¹³¹ A Altair está de olho em uma demanda potencialmente grande do NanoCheck para uso em milhares de fazendas de piscicultura comercial pelo mundo, onde a remoção e prevenção de algas atualmente é onerosa. Segundo a Altair, a companhia planeja expandir seus testes para confirmar que as nanopartículas não são nocivas aos peixes, mas não faz qualquer menção aos testes que serão realizados para avaliar os impactos da sobrecarga de nanopartículas que escaparem, sobre a saúde humana e o meio ambiente.¹³²
- **Nanovacinas de DNA:** O USDA está finalizando testes de um sistema de vacinação de peixes em massa usando ultra-som.¹³³ Nanocápsulas contendo seqüências curtas de DNA são adicionadas no tanque, onde são absorvidas pelas células dos peixes. O ultra-som é então usado para romper as cápsulas, liberando o DNA e provocando uma resposta imunológica dos peixes. Essa tecnologia até agora foi testada em trutas arco-íris pela Clear Springs Foods (Idaho, EUA) – uma importante companhia de aquacultura que produz cerca de 1/3 de toda a truta criada nos EUA.
- **Peixes de crescimento rápido:** Cientistas da Academia Russa de Ciências relataram que carpas e esturjões jovens mostraram uma taxa de crescimento mais rápida (30% e 24% respectivamente) quando alimentados com nanopartículas de ferro.¹³⁴

O Futuro da Produção Agrícola e Animal: Nanobiotecnologia e Biologia Sintética

Na alvorada do século XXI, a engenharia genética repentinamente é um chapéu velho. A primeira conferência sobre biologia sintética do mundo aconteceu em junho de 2004. Dois meses depois, a Universidade da Califórnia e Berkeley (EUA) anunciou o estabelecimento do primeiro departamento de biologia sintética nos Estados Unidos.¹³⁶

Segundo o repórter científico W. Wayt Gibbs, a biologia sintética envolve “desenhar e construir sistemas vivos que se comportem de maneiras previsíveis, que usem partes intercambiáveis e que, em alguns casos, operem com um código genético estendido que lhes permita fazer coisas que nenhum organismo natural pode”.¹³⁷ Um dos objetivos, escreve Gibbs, é “estender as fronteiras da vida e das máquinas, até que as duas se sobreponham para produzir organismos verdadeiramente programáveis”.¹³⁸

Ainda que a biologia sintética nem sempre seja sinônimo de nanobiotecnologia (isto é, a fusão do animado e do inanimado em nanoescala, para produzir materiais e organismos híbridos), a programação e funcionamento de “máquinas viventes”, no futuro, freqüentemente envolverá a integração de partes biológicas e não-biológicas em escala nanométrica. Cientistas do novo departamento de biologia sintética de Berkeley, por exemplo, estão particularmente interessados no desenho e construção de “biobots” – robôs autônomos desenhados para desempenhar ações especiais, que são do tamanho de um vírus ou célula, e constituídos de partes biológicas e artificiais.¹³⁹

Os cientistas vêm dando passos para construir vida em escala nanométrica já há algum tempo. Em 1968, o químico indo-americano Har Gobind Khorana recebeu o Prêmio Nobel por sintetizar nucleotídeos (as subunidades químicas – A, T, C, G – que compõem a molécula de DNA), ligando-se em um DNA sintético. Em fevereiro de 1976, uma equipe de pesquisa da Califórnia (que mais tarde fundou a Genentech) desenvolveu um processo automatizado para sintetizar o DNA e construiu um gene sintético com funcionalidade completa. Os genes sintéticos e o DNA sintético são atualmente o elemento central da engenharia genética na medicina e na agricultura.

Em 2002, pesquisadores na Stony Brook (a universidade do Estado de Nova Iorque) sintetizaram as 7.440 letras no genoma do vírus da poliomielite usando seqüências de DNA encomendados pelo correio. Eles levaram 3 anos para construir um vírus vivo de pólio a partir do zero. Menos de 2 anos depois, uma equipe liderada por Craig Venter (anteriormente do Projeto do Genoma Humano) foi capaz de sintetizar um vírus um pouco menor em apenas 3 semanas, abrindo a possibilidade de montagem rápida de microorganismos artificiais – e a possibilidade de projetar perigosos agentes de guerra biológica a partir do zero.

Venter, que chefia o instituto de alternativas em energia biológica (IBEA), está agora construindo um novo tipo de bactéria utilizando DNA fabricado no laboratório. Sua equipe está modificando o DNA do *Mycoplasma genitalium*, uma bactéria que possui o menor número de genes de qualquer célula viva, com o objetivo de reduzi-lo apenas aos genes necessários à vida. Os pesquisadores inserirão a forma de vida mínima de volta a uma célula normal da bactéria de onde se tenha extraído o seu DNA. Segundo o Prof. Clyde Hutchison, um bioquímico que ajudou a seqüenciar o genoma do *Mycoplasma*, “a vantagem de um organismo sintético sobre a manipulação de organismos naturais ... é que se tem muito mais controle sobre as propriedades da célula do que quando se confia nos mecanismos naturais. Tanto para bons como para maus propósitos ... se está numa melhor posição para projetar exatamente o que se quer.”¹⁴⁰

Com financiamento do Departamento de Energia dos EUA (DOE), o objetivo final de Venter é construir organismos sintéticos que possam produzir energia e amenizar as mudanças climáticas. Tanto Venter como o DOE apontam para aplicações mais amplas da vida sintética, sinalizando que os benefícios poderiam incluir “o desenvolvimento de melhores vacinas e estratégias mais seguras para a terapia genética; o aumento da produtividade agrícola, pela maior resistência a doenças [sic] e melhores estratégias para combatê-las; e, inclusive, pelo aumento da nossa capacidade de detectar e derrotar potenciais ameaças de agentes biológicos, o que é importante para a segurança pátria.”¹⁴¹ Venter deixou entrever que irá revelar um novo genoma artificial pelo final de 2004, que é maior do que um vírus mas menor do que uma bactéria.¹⁴²

No verão de 2003, o Grupo ETC informou sobre uma pesquisa na Universidade da Flórida (EUA) para criar um nucleotídeo artificial, uma cópia feita pelo homem de um dos quatro componentes químicos que formam o DNA (A, G, C e T).¹⁴³ Desde então, outros pesquisadores dessa universidade conseguiram adicionar uma segunda letra artificial – de modo que são seis no total – e, o mais notável, é que forçaram essa nova molécula expandida de DNA a fazer cópias de si mesma.¹⁴⁴ A equipe de pesquisa conseguiu “evoluir” seu DNA artificial por cinco gerações. De acordo com o cientista que lidera o projeto, o avanço “aumentará nossa capacidade de detectar material genético indesejado proveniente de vírus, bactérias e mesmo de agentes de guerra biológica. Também tornará mais eficiente nossa capacidade de detectar defeitos no DNA natural, como aqueles responsáveis por câncer e enfermidades genéticas.”¹⁴⁵ Conforme o Grupo ETC chamou a atenção no ano

passado, tais avanços tanto podem ser a maior coisa que aconteceu desde que o DNA foi emendado como poderiam criar produtos finais que contribuam tanto para o arsenal biológico quanto para a detecção de doenças e desenvolvimento de novos medicamentos.

Gosma Verde: “Gosma Verde” é o termo que o Grupo ETC usa para descrever riscos potenciais associados com a biologia sintética ou a nanobiotecnologia. Os pesquisadores estão induzindo organismos vivos a executar funções mecânicas justamente porque organismos vivos são capazes de auto-montagem e auto-replicação. Eles imaginam controlar células vivas e organismos vivos feitos sob medida para realizar tarefas bioquímicas específicas, tais como produzir hidrogênio ou seqüestrar dióxido de carbono. Mas e se as novas formas de vida, especialmente aquelas desenhadas para funcionar de modo autônomo no meio ambiente, se mostrarem difíceis de controlar ou conter? E se algo der errado? Esse é o espectro da “Gosma Verde”.

Asilomar+30? Alguns pesquisadores no campo da biologia sintética começaram a admitir riscos potenciais e implicações éticas de seu trabalho. Um recente editorial na *Nature* sugere que pode ser o momento para uma reunião de cúpula do tipo Asilomar, para demonstrar publicamente que membros da comunidade da biologia sintética “estão dispostos a consultar e refletir cuidadosamente sobre riscos – tanto percebidos como reais – e moderar suas ações de acordo com isso.”¹⁴⁸

O que é Asilomar? Em 1974, a Academia Nacional de Ciências dos EUA estabeleceu um comitê de biólogos e bioquímicos moleculares para responder às crescentes preocupações sobre riscos potenciais associados à engenharia genética nos laboratórios. O comitê publicou uma carta aberta, em julho de 1974, conclamando por uma moratória voluntária e parcial nos experimentos com engenharia genética em laboratório, e por uma reunião internacional de cientistas para tratarem dos potenciais riscos biológicos. Asilomar é o centro de conferências na Califórnia (EUA) onde eminentes biólogos moleculares reuniram-se em fevereiro de 1975. Os cientistas esboçaram normas para pesquisa em engenharia genética e recomendaram que a moratória parcial fosse levantada.

Apesar de estarem sendo feitas chamadas para ocorrer um novo encontro do tipo Asilomar, o Grupo ETC acredita que Asilomar é um modelo inaceitável para o mundo de hoje. Há trinta anos atrás, a participação no Asilomar foi limitada a um grupo de cientistas de elite escolhidos a dedo, que defendiam uma agenda de auto-regulamentação para a engenharia genética, como um meio de esvaziar o espectro de uma ação governamental; o foco da discussão limitou-se a questões de riscos e segurança – excluindo, explicitamente, aspectos sociais e éticos mais amplos.¹⁴⁹ Segundo a historiadora da Universidade de Michigan (EUA), Susan Wright, diversos repórteres que fizeram a cobertura do encontro de Asilomar concluíram que a conferência “teve a intenção de evitar o envolvimento do público, ao invés de encorajá-lo.”¹⁵⁰

Reconhecendo que existe uma necessidade urgente de lidar com as implicações sociais e éticas e com os riscos potenciais associados à biologia sintética e à nanobiotecnologia – quaisquer esforços para confinar as discussões a reuniões de especialistas, ou para restringir o debate tão somente a aspectos ambientais, de saúde e segurança das tecnologias em escala nanométrica, será um erro. Do mesmo modo, será contraproducente quaisquer esforços para “educar” ou “consultar” cidadãos em nome da melhoria das relações públicas, ou de evitar o exame atento da regulamentação. Em sua recente reportagem, *See-Through Science*, a Demos, do Reino Unido, afirma que o engajamento do público em assuntos de ciência e tecnologia não deve se limitar a informações de decisões tomadas pelos governos – deve ativamente configurá-las.”¹⁵¹

II. ALIMENTOS E NUTRIÇÃO NANOMÉTRICOS, OU “NANOTECNOLOGIA PARA A BARRIGA”

Introdução: Um punhado de produtos alimentícios e de nutrição contendo invisíveis aditivos em escala nanométrica já estão comercialmente disponíveis. Centenas de companhias estão conduzindo P&D sobre o uso da nanotecnologia para engenheirar, processar, embalar e levar alimentos e nutrientes até nossas cestas de compras e nossos pratos. Entre elas estão corporações gigantes de alimentos e bebidas, bem como pequenas novas empresas de inovação nanotecnológica.

Conforme Jozef Kokini, diretor do centro de tecnologia avançada de alimentos na Rutgers University (Nova Jersey, EUA), “todas as grandes corporações de alimentos têm um programa em nanotecnologia ou esperam desenvolver um.”¹⁵³ Um relatório de 2004, produzido pela Helmut Kaiser Consultancy, “*Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide*” (nanotecnologia na indústria de alimentos e seus processados em nível mundial), prevê que o mercado de nano-alimentos crescerá de US\$ 2,6 bilhões atualmente, para US\$ 7 bilhões em 2006 e US\$ 20,4 bilhões em 2010.¹⁵⁴ Além de um punhado de produtos nano-alimentícios que já estão no mercado, mais de 135 aplicações de nanotecnologia nas indústrias alimentícias (principalmente nutrição e cosméticos) estão em diferentes estágios de desenvolvimento.¹⁵⁵ Segundo a Helmut Kaiser, mais de 200 companhias ao redor do mundo estão envolvidas em P&D de nanotecnologia relacionada a alimentos. Entre as 20 companhias mais ativas estão 5 das 10 maiores corporações de alimentos e bebidas do mundo, a maior companhia de alimentos da Austrália e a maior produtora de frutos do mar e de alimentos industrializados do Japão. (Vide Anexo 1)

Apesar do óbvio entusiasmo pela ciência da escala nanométrica e suas aplicações à engenharia e processamento de alimentos, a indústria de alimentos e bebidas é, de modo geral, conservadora e cautelosa quando fala sobre o futuro da nanotecnologia e alimentos. A maioria dos representantes de indústrias entrevistada pelo Grupo ETC declinou de dar maiores detalhes sobre o nível de financiamentos ou sobre os parceiros industriais. Falamos com cientistas de corporações gigantes de alimentos e bebidas (Kraft e Nestlé), bem como com pesquisadores de universidades e representantes de pequenas novas empresas de inovação nanotecnológica (muitas vezes um único e o mesmo). Depois de testemunhar uma rejeição generalizada a alimentos geneticamente modificados, a indústria de alimentos pode



se sentir inquieta em confessar atividades de P&D de produtos alimentícios “atômica e modificados”. “A indústria alimentícia é mais tradicional do que outros setores como a IBM” [onde

a nanotecnologia pode ser aplicada], explica Gustavo Larsen, professor de engenharia química e ex-consultor da Kraft.¹⁵⁶ “Minha impressão é de que há boas oportunidades e está bem mais viável aproveitar essas oportunidades [no setor de alimentos]. Você pode fazer nanopartículas e usá-las em alimentos – você não tem que montá-las primeiro.”¹⁵⁷

Quando perguntado sobre o que ele acreditava seriam os primeiros produtos da P&D em nanotecnologia, relacionados a alimentos, Larsen disse que os consumidores provavelmente veriam embalagens compostas por materiais em escala nanométrica, antes de novidades em produtos alimentícios. “Acho que as embalagens são uma aposta mais segura”, disse Larsen.

Manufatura Molecular de Alimentos

Algumas pessoas afirmam que, no futuro, a engenharia molecular nos permitirá “fazer crescer” quantidades ilimitadas de comida sem solo, sementes, áreas cultivadas, ou agricultores – e que ela, no processo, eliminará por completo a fome global. Considerem-se os seguintes pontos de vista:

- “Nanomáquinas poderiam criar quantidades ilimitadas de alimentos pela síntese, em nível atômico, que poderiam erradicar a fome.” – Carmen I. Moraru *et al.*, professora de ciência de alimentos, Cornell University (EUA), sobre o impacto potencial da nanotecnologia sobre a ciência dos alimentos.¹⁵⁸
- “A biossíntese molecular e o reabastecimento robótico poderão permitir uma rápida substituição da produção, de modo que não teríamos de depender de sistemas centralizados para cultivar e distribuir nossos alimentos. No início, primitivos estágios da montagem molecular, construiríamos estufas empacotadas, radicalmente diferentes das atuais, que permitiriam a produção local ou individualizada por milhões que não sabem nada de agricultura ... No estágio seguinte da manufatura molecular, a síntese dos alimentos poderia ocorrer diretamente, sem cultivos nem criação de animais.” – Douglas Mulhall, *Our Molecular Future* [nosso futuro molecular].
- “Por que seres humanos não podem imitar a metodologia da natureza? Ao invés de produzir grãos e gado para os carboidratos e proteínas, as nanomáquinas (nanobots) poderiam montar o bife ou farinha desejados, a partir de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, presentes no ar como na água e no dióxido de carbono. Os nanobots presentes nos alimentos poderiam circular através do sistema sanguíneo, eliminando depósitos de gordura e matando patógenos.” - Dr. Marvin J. Rudolph, Diretor, DuPont Food Industry Solutions, em *Food Technology*, janeiro de 2004.

Produzir alimentos através da manufatura molecular¹⁵⁹ é o mais ambicioso objetivo da nanotecnologia – e o menos provável de se materializar num curto prazo. Aos que seguirem o debate sobre a nanotecnologia nas duas últimas décadas, as afirmações entusiásticas de que uma nova tecnologia alimentará os famintos, é um refrão surrado e vazio. Os nanotimistas enxergam o futuro através dos óculos cor de rosa (e verdes) da indústria biotecnológica: agora é a nanotecnologia, proclamam eles, que irá erradicar a fome pelo aumento da produção agrícola, pelo enriquecimento do conteúdo nutricional dos alimentos e pela eliminação do risco de alérgenos nos alimentos.¹⁶⁰

O Grupo ETC conclui que a atual “nanotecnologia para a barriga” está seguindo a mesma trajetória que outras P&D em nanoescala, a julgar por suas primeiras aplicações na área de materiais e sensores “inteligentes”. Aplicações mais revolucionárias, tal como modificação

atômica dos alimentos, talvez estejam mais distantes. Mas é importante ressaltar que cientistas ambiciosos estão tentando criar comida no laboratório.

Engenheiros de tecidos no Touro College (Cidade de Nova Iorque) e da Universidade Médica da Carolina do Sul (EUA), estão experimentando produzir carne “marinando” células de mioblastos (músculo) de peixe em nutrientes líquidos, para encorajar as células a se dividirem e se multiplicarem por si mesmas. O primeiro objetivo é evitar que os astronautas passem fome no espaço.¹⁶¹

Embalagens

Atualmente a embalagem e o monitoramento de alimentos constituem o foco principal de P&D nanotecnológico da indústria de alimentos. As embalagens que incorporam nanomateriais podem ser “inteligentes”, o que significa que podem responder a condições ambientais ou se auto-consertarem, ou alertarem o consumidor sobre contaminação e/ou presença de patógenos. Segundo analistas industriais, o atual mercado dos EUA para embalagens de alimentos e bebidas “ativas, controladas e inteligentes” é estimado em US\$ 38 bilhões – e ultrapassará os US\$ 54 bilhões em 2008.¹⁶⁷ Os exemplos a seguir ilustram aplicações em escala nanométrica para embalagens de alimentos e bebidas:

- A gigante da química, Bayer, produz um filme plástico transparente (chamado Durethan) que contém nanopartículas de argila. As nanopartículas estão totalmente dispersas no plástico e podem bloquear a entrada de oxigênio, dióxido de carbono e umidade evitando seu contato com carnes frescas ou outros alimentos.¹⁶⁸ A nanoargila também torna o plástico mais leve, mais forte e mais resistente ao calor.
- Até recentemente, a busca da indústria por engarrafar cerveja em recipientes plásticos (para baratear o transporte) não teve sucesso por causa de problemas de má conservação e alteração de sabor. Atualmente, a Nanocor, subsidiária da Amcol International Corp., está produzindo nanocompostos para uso em garrafas plásticas para cerveja que dão à bebida uma vida de prateleira de 6 meses.¹⁶⁹ Incrustando nanocristais no plástico, os pesquisadores criaram uma barreira molecular que ajuda a evitar a fuga do oxigênio. A Nanocor e a Southern Clay Products estão agora trabalhando em uma garrafa plástica para cerveja que pode aumentar a vida de prateleira para 18 meses.¹⁷⁰
- A Kodak, mais conhecida pela produção de filme fotográfico, está usando nanotecnologia para desenvolver embalagens antimicrobianas para produtos alimentícios que estarão comercialmente disponíveis em 2005. A Kodak também está desenvolvendo outras ‘embalagens ativas’ que absorvem o oxigênio, mantendo dessa forma os alimentos frescos.¹⁷¹
- Cientistas na Kraft, bem como nas Universidades de Rutgers e Connecticut (EUA), estão trabalhando em filmes com nanopartículas e em outras embalagens com sensores incrustados que detectarão patógenos em alimentos. Chamada de tecnologia da “língua eletrônica”, os sensores podem detectar substâncias em partes por trilhão e disparariam uma alteração na cor da embalagem, para alertar o consumidor se um alimento se tornou contaminado ou começou a estragar.¹⁷²
- Pesquisadores na Holanda estão um passo à frente para desenvolver embalagens inteligentes que liberarão um conservante se o alimento contido começar a se deteriorar. Esse conservante na embalagem, de “liberação por comando”, é operado por meio de um biocomutador desenvolvido através de nanotecnologia.¹⁷³
- O desenvolvimento de pequenos sensores para detectar patógenos que crescem nos alimentos não apenas estenderá o alcance da agricultura industrial e do processamento de alimentos em larga escala. Segundo os militares dos EUA, é uma prioridade de segurança nacional.¹⁷⁴ Com as tecnologias atuais, os testes de contaminação microbiana em alimentos levam de 2 a 7 dias, e os sensores desenvolvidos até agora são muito grandes para serem transportados com facilidade.¹⁷⁵

Diversos grupos de pesquisadores nos EUA estão desenvolvendo biosensores que podem detectar patógenos rápida e facilmente, pois consideram que “super sensores” terão um papel crucial no caso de um ataque terrorista atingindo o abastecimento de alimentos. Com financiamento do departamento de agricultura (USDA) e da fundação nacional de ciências (NSF), dos EUA, pesquisadores na Purdue University (EUA) estão trabalhando para produzir um sensor manual capaz de detectar uma determinada bactéria instantaneamente, em qualquer amostra. Eles criaram uma nova companhia chamada de BioVitesse.¹⁷⁶

Ainda que dispositivos capazes de detectar patógenos que crescem em alimentos possam ser úteis para monitorar o abastecimento, sensores e embalagens inteligentes não chegarão à raiz dos problemas de contaminação inerentes à produção industrial de alimentos: linhas mais rápidas de (des)montagem de carnes, maior mecanização, diminuição da força de trabalho composta por operários mal pagos, menos inspetores, ausência de prestação de contas por parte das empresas e governos e as enormes distâncias entre produtores, processadores e consumidores de alimentos. Hoje o consumidor é responsável por certificar-se de que a carne tenha sido suficientemente cozida para garantir que todos os patógenos morreram. Em breve, se esperará que os consumidores sejam seus próprios inspetores de carne, de modo que a indústria possa continuar a cortar os custos com a segurança dos alimentos e aumentar seus lucros.

Sinal Histórico: Na Véspera de um Aniversário

As normas de segurança de alimentos existem desde os tempos babilônicos, mas a era moderna de normas governamentais data de mais ou menos um século. Em 1906, o governo dos EUA estabeleceu a lei de alimentos e drogas puras (Pure Food and Drugs Act).¹⁶² Confrontado pelos ardis das corporações por todos os lados, o Congresso dos EUA tentou estabelecer algumas regras básicas para a qualidade alimentar e agrícola. A história mostra que normas de segurança dos alimentos e tecnologias correlatas possuem um passado com altos e baixos:

Fins da Década de 40: O ‘boom’ químico do pós II Guerra viu a ampla utilização do DDT e outros agrotóxicos na agricultura no mundo inteiro. Originalmente anunciado como “milagre” para a saúde e a produção, os responsáveis por regulamentação finalmente se deram conta que os produtos químicos que matam pragas e insetos poderiam também matar gente. O DDT foi retirado do mercado na década de 70, assim como muitos dos seus similares químicos.

Década 60–70: Alguns corantes, conservantes e aditivos químicos, e adoçantes artificiais, foram retirados das prateleiras tão rapidamente como foram colocados, quando os responsáveis por regulamentação descobriram que tinham propriedades carcinogênicas.

Fins da Década de 70: Em 1978, o governo dos EUA descobriu que o principal laboratório do setor privado, que avaliava novos agrotóxicos e outros químicos, Industrial Bio-Test Ltd., sistematicamente falsificou dados de testes com animais por um período de 10 anos, comprometendo a segurança de algumas centenas de produtos químicos para a agricultura.¹⁶³ Três dos executivos chefes da companhia foram mais tarde condenados por fraude. Ao invés de retirar das prateleiras todos os agrotóxicos baseados em dados de segurança inválidos, os reguladores dos EUA permitiram que muitos permanecessem, a não ser que houvesse prova convincente de que os produtos fossem perigosos.¹⁶⁴

Década de 80– 90: Pesquisa de saúde sobre disruptores endócrinos indica que um grande número de químicos agrícolas e aditivos alimentares, bem como produtos farmacêuticos – mas especialmente hormônios do crescimento – poderiam causar prejuízos à saúde humana.¹⁶⁵ Muitos pesquisadores associam o aumento da epidemia de câncer, asma, problemas com déficit de atenção e outros distúrbios neurológicos, a produtos químicos introduzidos na cadeia alimentar e/ou no meio ambiente desde a II Guerra Mundial.¹⁶⁶

1996: Quando variedades agrícolas geneticamente modificadas foram aprovadas para a venda comercial nos EUA, uma rápida retração dos consumidores na Europa e muitas regiões do Sul, levou a Convenção de Biodiversidade, das Nações Unidas, a iniciar deliberações para um Protocolo de Biossegurança. Um fraco Protocolo de Biossegurança entrou em vigor sete anos mais tarde – em 2003.

1996: O governo do Reino Unido reconhece que uma variante de encefalopatia bovina espongiforme (popularmente conhecida como Doença da Vaca Louca) disseminou-se para os humanos, resultando na eliminação em massa dos rebanhos britânicos. Os responsáveis por regulamentação e cientistas acreditaram, erroneamente, que alimentar o gado com componentes bovinos não causava risco à saúde.

Fim da Década de 90: As empresas multinacionais do tabaco – enfrentando ações jurídicas de vários bilhões de dólares – finalmente admitem que o tabaco é perigoso para a saúde – mas somente depois que essas companhias diluíram seus riscos diversificando suas atividades para processamento de alimentos e de bebidas.

2000: Perplexos com a revolta dos consumidores contra os alimentos GM, muitos varejistas e processadores de alimentos recusam esses produtos, declarando que “não levarão o tiro” no lugar da Monsanto.

2002: A Organização Mundial da Saúde alerta contra a “Globesidade.” O estilo de vida “fast food” está levando a classe média, no Norte e no Sul, a uma pandemia de sobrepeso e obesidade.

2004: Os agricultores e os consumidores tomam conhecimento de que as nanopartículas estão sendo desenvolvidas ou comercializadas para a produção agrícola e de animais, e para utilização em alimentos processados, sem que haja uma regulamentação específica.

Rotulagem e Monitoramento

Etiquetas de Identidade com Frequência de Rádio (RFID): Uma etiqueta RFID é um pequeno *chip* de circuito integrado sem fio, com um rádio transmissor e um código de identificação incrustado nele. A RFID tem vantagens sobre outras etiquetas que podem ser lidas eletronicamente – tais como os códigos de barra UPC presentes na maioria dos produtos de consumo atuais. Ela é pequena o bastante para ser colocada no próprio produto e não apenas na sua embalagem, pode conter muito mais informações e ser lida à distância, inclusive através dos materiais, como caixas ou outras embalagens. Além disso, é possível ler muitas etiquetas ao mesmo tempo. Elas já estão sendo usadas para o acompanhamento de animas de criação, fixadas na orelha ou injetadas no animal. O *chip* inteiro pode ser do tamanho de um grão de pó – mais perto da microescala do que da nanoescala, apesar de incorporar componentes em escala nanométrica. Quem desenvolveu essa tecnologia vislumbra um mundo onde se pode “identificar qualquer objeto em qualquer lugar, automaticamente”.¹⁷⁷

As etiquetas RFID poderiam ser utilizadas em embalagens de alimentos para realizar tarefas relativamente simples, como permitir às caixas de supermercados somarem, de uma só vez, o valor total das compras do cliente, ou alertar os consumidores se produtos estiverem com suas datas de validade vencidas. O uso dessas etiquetas gera controvérsias porque podem transmitir informações mesmo depois do produto ter saído do supermercado. Os defensores da privacidade estão preocupados pelo fato de que os comerciantes terão ainda maior acesso a dados sobre o comportamento do consumidor. Eles querem que as etiquetas sejam desativadas na caixa registradora (*tag killing*) para garantir que dados pessoais não sejam obtidos e armazenados. A Wal-Mart nos EUA e a TESCO no Reino Unido já testaram a etiquetagem RFID em produtos de algumas lojas.¹⁷⁸

Um “nanocódigo de barras” é um dispositivo alternativo de etiquetagem ou monitoramento que funciona mais como o código UPC, mas em escala nanométrica. Um tipo de nanocódigo de barras, desenvolvido pela Nanoplex Technologies, é uma nanopartícula constituída de riscas metálicas - variações nas riscas resulta no método para codificação das informações.¹⁷⁹

A Nanoplex altera o comprimento e largura das partículas e o número, largura e composição de cada risca, para fazer bilhões e bilhões de variações. Até agora eles têm colocado esses nanocódigos dentro de tintas, tecidos, roupas, papel, explosivos, e em jóias. Os códigos podem ser lidos utilizando-se um leitor ótico manual ou um microscópio que mede a diferença na refletividade das riscas metálicas. Por exemplo, a prata e o ouro refletem a luz de modo distinto, e são os padrões de reflexão que dão a cada partícula seu código único. Além de ouro e prata, a Nanoplex fabrica códigos em platina, paládio, níquel e cobalto.

A Nanoplex também produz etiquetas “Senser” (*Silicon Enhanced Nanoparticles for Surface Enhanced Raman Scattering*) – nanopartículas metálicas de 50 nm que exibem códigos únicos similares aos nanocódigos de barra. As etiquetas Senser também podem ser incorporadas nas embalagens e lidas por uma leitora automática a até 1 metro de distância, permitindo identificar itens na saída de lojas (similar às etiquetas RFID), ou de forma dissimulada em portos de entrada e saída.¹⁸⁰

A etiquetagem de embalagens de alimentos significará que o alimento poderá ser monitorado do produtor à mesa – durante o processamento, enquanto em trânsito, nos restaurantes ou nas prateleiras do supermercado e, finalmente, mesmo após o consumidor tê-los comprado. Acopladas a nanosensores, essas mesmas embalagens podem ser monitoradas quanto a patógenos, mudanças de temperatura, vazamentos, etc.

Alimentos Nanométricos: No Fundo, o Que Se Está Cozinhando?¹⁸¹

Em 1999, a Kraft Foods, a subsidiária de US\$ 34 bilhões da Altria (antes conhecida como Phillip-Morris), criou o primeiro laboratório de nanotecnologia de alimentos da indústria. No ano seguinte, a Kraft lançou o consórcio NanoteK, envolvendo 15 universidades e laboratórios públicos de pesquisa ao redor do mundo.¹⁸² Nenhum dos cientistas envolvidos no consórcio é cientista de alimentos por formação; em vez disso, são uma mescla de químicos moleculares, cientistas de materiais, engenheiros e físicos.¹⁸³

Ver os alimentos na perspectiva de um engenheiro não é nada novo. Nas últimas 3 décadas, os cientistas introduziram genes de uma espécie de planta ou animal em outra, usando tecnologias de modificação genética mas, pelo menos há milhares de anos antes disso, as pessoas tem introduzido aditivos especialmente formulados nos alimentos, para dar-lhes novos sabores, texturas, cores ou outras qualidades. As tecnologias em escala nanométrica levarão a engenharia de alimentos ao “diminuto”, um novo nível com o potencial de mudar drasticamente a maneira como os alimentos são produzidos, cultivados, processados, embalados, transportados e mesmo comidos.

Aditivos Alimentares em Nanoescala: De fato, os produtos de nanotecnologia já começaram a “aparecer” nos alimentos (apesar de serem muito pequenos para serem vistos – e os consumidores não terão maneira de saber, uma vez que não há exigência de rotulagem nem regulamentação específica a seu tamanho). A BASF, por exemplo, produz uma versão em escala nanométrica de carotenóides, uma classe de aditivos de alimentos que dá uma cor alaranjada e que ocorre naturalmente em cenouras e tomates. Alguns tipos de carotenóides são antioxidantes e podem ser convertidos em Vitamina A no corpo. A BASF vende seus carotenóides sintéticos em escala nanométrica às principais companhias



de alimentos & bebidas no mundo inteiro, para uso em refrescos, sucos de frutas e margarinas.¹⁸⁴ A formulação em nanoescala torna-os mais facilmente absorvíveis pelo corpo, mas também aumenta a vida de prateleira.³⁴ (As vendas de carotenóides pela BASF são de US\$ 210 milhões por ano. Essa cifra inclui as vendas de carotenóides em escala nanométrica e outros).¹⁸⁵

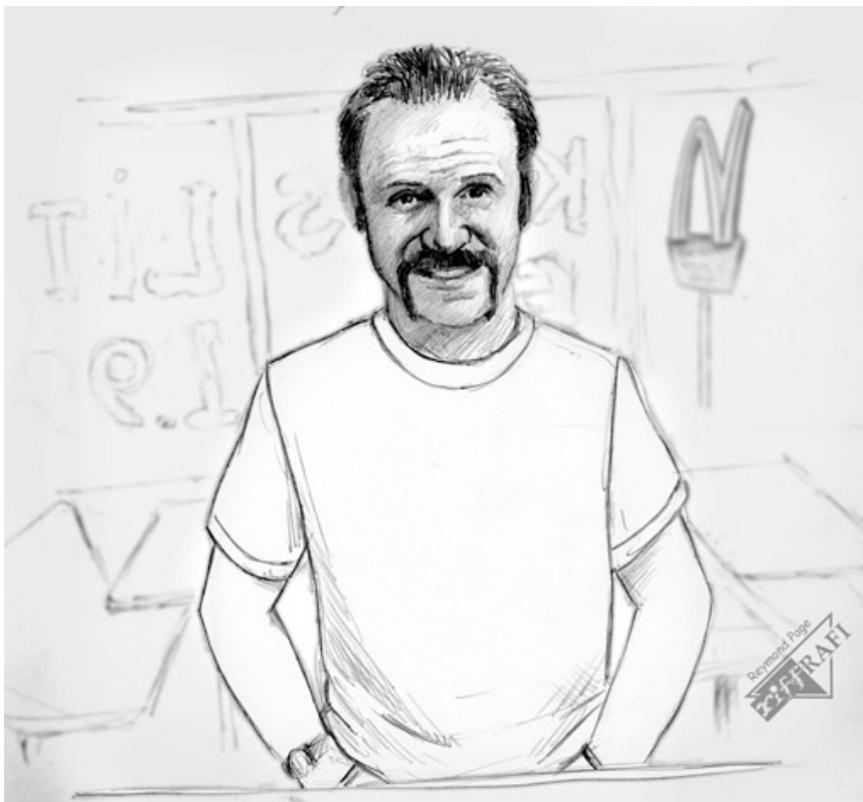
Em 2002, a BASF emitiu uma notificação de inocuidade sobre um de seus produtos ‘amplamente

reconhecido como inofensivo’ (*‘Generally Recognized as Safe’* ou GRAS), para informar à FDA sobre suas vendas, como aditivo de alimentos, de um carotenóide sintético chamado licopeno (que ocorre naturalmente em tomates). O licopeno sintético da BASF é formulado em escala nanométrica. Segundo a BASF, a questão de testes especializados para o licopeno nanoparticulado não foi levantada e não foi exigida porque “a BASF demonstrou sua segurança em uma variedade de ... avaliações toxicológicas.”¹⁸⁷ A FDA aceitou o informe da BASF sem questionamentos.¹⁸⁸ Em entrevista por telefone, Robert Martin, da FDA, confirmou que o tamanho não foi levado em conta na revisão do licopeno sintético da BASF e ele explicou, ainda, que “o tamanho, por si”, “não é uma consideração relevante” numa revisão regulamentar, mas que seria considerado “caso a caso” se parecesse haver implicações para com a saúde e a segurança.¹⁸⁹

É seguro adicionar nanopartículas aos alimentos? A resposta curta à pergunta é “Ninguém sabe ao certo”. Esse assunto, ainda devem confrontá-lo os regulamentadores ou a comunidade científica. O Grupo ETC identificou apenas um punhado de aditivos em escala

nanométrica em alimentos atualmente no mercado, mas não podemos ter certeza sobre quão ampla é sua utilização, uma vez que não há exigências para que sejam rotulados como tais. Assim como em outras arenas de regulamentação, como nos cosméticos e químicos, a questão da segurança não tem sido enfocada a partir da perspectiva do tamanho. Até agora, os fabricantes têm sido os únicos a considerar o tamanho – principalmente em termos das vantagens de mercado que as dimensões extremamente pequenas oferecem (p.ex. uma diminuição de tamanho aumenta a disponibilidade biológica em alimentos; uma diminuição de tamanho aumenta a transparência em cosméticos).

No caso dos aditivos que também ocorrem naturalmente em alimentos, não está claro quais são os aspectos específicos de segurança a serem considerados devido ao tamanho nanoscópico. Discutindo o licopeno em escala nanométrica, por exemplo, o Dr. Gerhard Gans, da BASF, explicou que quando o licopeno sintético em escala nanométrica chega ao sistema digestivo, ele se comporta exatamente da mesma maneira como o licopeno do tomate: ele é decomposto pelas enzimas digestivas e levado para a corrente sanguínea, e depois para o fígado e outros órgãos como moléculas individuais.¹⁹⁰ Em outras palavras, no momento em que entra na corrente sanguínea, todo o alimento está em escala nanométrica, quer tenha se iniciado como uma fatia de tomate ou como um copo de refresco contendo o licopeno sintético da BASF. (Talvez por causa das preocupações com saúde relacionadas às nanopartículas, o Dr. Gans enfatizou que o licopeno sintético manuseado por empregados da BASF e fornecido a seus clientes não estava na forma de nanopartículas; nesse estágio, disse ele, as partículas se agrupam em agregados de dimensões em nível de micron, que se dissolverão parcialmente no produto final. Em última instância, as enzimas digestivas do consumidor trazem as partículas de volta para a escala nanométrica.)



Ainda que, *a priori*, faça sentido a explicação de que todo o alimento está em escala nanométrica no momento em que chega à corrente sanguínea, é importante observar que a BASF realizou testes toxicológicos com seu licopeno não por ser uma formulação em escala nanométrica, mas por ser produzido através de síntese química (ao invés de derivado de frutas e vegetais contendo licopeno). Se o licopeno sintético já fosse reconhecido

como ingrediente alimentar, a BASF não teria sido obrigada, pela regulamentação, a testar a segurança da sua versão nanoscópica. É isso que torna alarmante a perspectiva de adicionar nanopartículas a alimentos na ausência de regulamentação específica que considere seu tamanho. Que substâncias já aprovadas como aditivos alimentares em escalas maiores e que agora podem ser formuladas em nanoescala - o que altera suas

propriedades, com conseqüências desconhecidas - estão a caminho? É de preocupação especial a formulação em escala nanométrica de substâncias que não ocorrem naturalmente em alimentos.

Tome-se o dióxido de titânio (TiO_2) como um exemplo. Esse composto foi aprovado pela FDA, em 1966, como um aditivo corante de alimentos, com a única condição de “não exceder 1% do peso” total do produto.¹⁹¹ (O TiO_2 , de tamanho de micron, dá uma brilhante cor branca e é adicionado a glacês em doces e tortas). A FDA também aprovou o TiO_2 como “substância permitida para contato com alimentos”, significando que se ele entra em contato com o alimento quando é incorporado à embalagem, não haverá problemas. O TiO_2 tem sido usado como corante (branco) em papel para embalagens de alimentos.¹⁹²

Com os avanços nas técnicas da nanotecnologia, o TiO_2 pode agora ser formulado em nanoescala. As mudanças nas propriedades quânticas que ocorrem com a redução do tamanho, oferecem vantagens para determinadas aplicações. Mas algumas das alterações nas propriedades do TiO_2 em nanoescala – como aumento da reatividade química – tem gerado preocupações quando a substância em escala nanométrica entra em contato íntimo com o corpo humano (p.ex. como ingrediente em cosméticos).¹⁹³ As partículas nanoscópicas de TiO_2 não são brancas (são transparentes), mas ainda assim bloqueiam a luz ultravioleta (UV) da mesma forma que as suas versões em escala maior. Transparente, o TiO_2 em escala nanométrica está agora sendo usado como proteção contra UV nos plásticos para embrulhar alimentos. Como o TiO_2 já foi aprovado como aditivo corante e substância permitida para contato com alimentos, suas aplicações em nanoescala não exigem testes adicionais de toxicidade. E os limites percentuais por peso total, estabelecidos na década de 60, não são necessariamente relevantes para as atuais formulações em escala nanométrica, uma vez que quantidades diminutas podem produzir grandes efeitos.

O dióxido de silício (SiO_2), também conhecido como sílica, é um outro exemplo de um aditivo de alimentos aprovado pela FDA que não está presente de forma natural nos alimentos. A sílica é uma substância comum na natureza – a areia da praia e o quartzo são formas quase puras de sílica cristalina.¹⁹⁴ Além de uma forma cristalina, a sílica ocorre naturalmente em forma amorfa (por exemplo, terra diatomácea) e é nesta forma que a sílica é produzida sinteticamente, e está aprovado pela FDA como um agente anti-aglutinante em alimentos.¹⁹⁸ (A sílica amorfa é também conhecida como “fumo de sílica”). A regulamentação estabelece que o conteúdo de sílica deve ser menor do que 2% do peso do alimento que a contém. Já está disponível comercialmente o fumo de sílica com partículas em nanoescala, de tamanho adequado para alimentos.¹⁹⁶ Novamente, não se sabe quais produtos alimentícios contêm sílica sintética em nanoescala, pois não há exigências de rotulagem.

Mars Inc., uma das maiores corporações de alimentos do mundo, obteve, em 1998, a patente norte-americana 5.741.505 para “produtos comestíveis com coberturas inorgânicas”. As coberturas criam uma barreira para evitar o contato do oxigênio ou da umidade com o alimento protegido, aumentando assim sua vida de prateleira. Na patente afirma-se que a invenção evitará que as balas duras se tornem grudentas, os biscoitos rançosos, os cereais amoleçam no leite, etc. As coberturas podem ser feitas de diversos compostos químicos, mencionando-se especificamente o SiO_2 e o TiO_2 . De acordo com os inventores, a cobertura deve ser extremamente delgada por

exigências da regulamentação e por causa de aspectos como textura e de “sensação na boca”. Segundo especificações na patente, a espessura da cobertura ideal é entre 0,5 nm e 20 nm. Apesar da cobertura poder ser feita de qualquer material inorgânico, os inventores declaram ser preferível usar substâncias que já tenha sido certificadas como GRAS pela FDA, tais como o SiO₂ e o TiO₂. No pedido da patente descreve-se um exemplo de sua invenção: recobriram doces das marcas M&Ms, Twix e Skittles com uma nanopelícula inorgânica.

O Grupo ETC não está na posição de avaliar os riscos ou segurança dos aditivos nanoscópicos usados nos alimentos. Mas queremos é chamar a atenção para o vazio de regulamentação, onde o tamanho *não importa* e as formulações em escala nanométrica não desencadeiam nenhuma avaliação reguladora especial. É uma espécie de “nepotismo de partículas” que pode ter conseqüências perigosas: se o Grande Irmão passa no teste de segurança, o Pequeno Irmão nem precisa fazer o exame.

Liberação Especial

A indústria trabalha na engenharia de alimentos visando que sejam mais “funcionais” – significando mais nutritivos (ou que o pareçam ser), ou que sirvam para algum outro propósito além da finalidade biológica de fornecer energia através do consumo de calorias. Muitas companhias acreditam que as tecnologias em nanoescala ajudarão nessa busca e estão enfocando na “liberação” ao organismo de substâncias contidas nos alimentos.

A maioria de nós não pensa muito sobre essa “liberação” quando se trata de comida: nós mordemos, mastigamos, engolimos e nosso trato digestivo toma conta do resto. Mas, a fim de nos beneficiarmos da “liberação” – seja da Vitamina C de uma maçã que acabamos de morder, ou do licopeno sintético em nosso refresco – o nutriente deve ir para o lugar certo no corpo e deve estar ativo quando chegar lá.¹⁹⁷ Controlar e engenheirar a “liberação” de nutrientes é um desafio, e dominar esse processo será imensamente lucrativo. De acordo com os analistas industriais, só nos EUA o mercado de alimentos funcionais contendo nutrientes com benefícios médicos – no valor de US\$ 23 bilhões em 2003 – passará dos US\$ 40 bilhões em 2008.¹⁹⁸

Em dezembro de 2000, o Grupo ETC informou que a indústria de biotecnologia buscava desenvolver uma nova geração de produtos biotecnológicos, os alimentos “nutracêuticos” e funcionais geneticamente modificados, que tentavam entregar benefícios claros (ou pelo menos percebidos como) aos consumidores.¹⁹⁹ Obscurecidos pela ampla controvérsia a respeito dos GMs, entretanto, os produtos nutracêuticos geneticamente modificados ficaram completamente parados na linha de produção. Terá sucesso a nanotecnologia onde a biotecnologia falhou?

Assim como os gigantes farmacêuticos, agroquímicos e de cosméticos, as companhias de alimentos e bebidas também estão realizando experiências com o uso de nanocápsulas para liberar ingredientes ativos. Uma forma de preservar um ingrediente ativo é colocá-lo em um ‘envelope’ protetor. O envelope pode ser engenheirado para se dissolver, ou o ingrediente ativo feito para passar através do envelope quando um determinado estímulo aciona o gatilho. Só nos EUA já existem algumas centenas de tipos de ‘microcápsulas’ sendo utilizadas como aditivos de alimentos,²⁰⁰ alguns destinados à liberação controlada de ingredientes ativos. A George Weston Foods da Austrália, por exemplo, vende uma versão

do seu popular pão Tip Top, conhecido como ‘Tip Top-up’, que contém microcápsulas de óleo de atum com elevado teor de ácidos graxos Omega-3. Como o óleo de atum está contido em uma microcápsula, o consumidor não sente o gosto do óleo de peixe, que é liberado pela digestão assim que alcança o estômago. A mesma tecnologia também está sendo empregada em iogurtes e alimentos para bebês.

Grandes (Unilever, Kraft) e pequenas companhias (vide abaixo) estão atualmente desenvolvendo “nanocápsulas”:

Pesquisadores na Universidade Hebraica de Jerusalém criaram uma companhia *start-up* chamada Nutralease. Eles requereram uma patente de uma estrutura auto-montada em escala nanométrica que pode transportar componentes ativos para dentro e através do corpo humano. Conforme o pedido da patente, o “nanoveículo” deles pode ser diluído em óleo ou água sem afetar seu ingrediente ativo. Os nanoveículos da companhia já estão no mercado, em um óleo de canola redutor de colesterol.²⁰² A Nutralease acaba de firmar acordo com uma companhia israelense de carnes que quer injetar um pouco de saúde em seus cachorros-quentes, e está em andamento um outro, com um fabricante de sorvetes.²⁰³

Royal BodyCare, uma companhia com sede no Texas (EUA) criou o que chama de “nanocêuticos” (e protocolou um registro de marca para o nome) – utilizando um tipo diferente de envelope para liberar “com muita potência, minúsculos aglomerados de cristais que se acredita com capacidade de aumentarem a absorção de nutrientes em nossas células”.²⁰⁴ A Royal BodyCare coloca essas partículas nanocêuticas em sua linha de suplementos alimentares “SuperFoods”.

A BioDelivery Sciences International (BDSI) desenvolveu e patenteou “nanococleados” – partículas espiraladas em escala nanométrica (tão pequenas como 50 nm de diâmetro) derivadas da soja (não geneticamente modificada, enfatizam!) e cálcio, que podem transportar e liberar diretamente nas células, compostos farmacêuticos bem como nutrientes - vitaminas, licopenos e ácidos graxos Omega. A companhia afirma que seus nanococleados podem liberar ácidos graxos Omega-3 em bolos, massas, sopas e biscoitos, sem alterar o gosto ou aroma dos produtos.²⁰⁵ Ainda não existem no mercado produtos que contenham sistema de liberação baseado em nanococleados, mas a companhia procura ativamente licenciar sua tecnologia. “Temos algumas companhias (de alimentos) que estão claramente interessadas”, disse Raphael Mannino, executivo científico chefe da BDSI.²⁰⁶ Mannino declarou ao Grupo ETC que ainda não está claro que obstáculos de regulamentação o sistema de liberação de nutrientes em escala nanométrica da sua companhia terá que transpor antes de ter a comercialização liberada. “Ninguém sabe ainda com segurança”, disse Mannino.²⁰⁷ Antes de se tornar uma realidade comercial, a BDSI precisa alcançar uma fabricação em grande escala da tecnologia de nanococleação. No cenário mais otimista, Mannino disse que “poderíamos estar nos alimentos dentro de um ano”.

Com financiamento do USDA, a LNKChemsolutions está desenvolvendo nanocápsulas de polímeros comestíveis para evitar a degradação do sabor e aroma de moléculas de alimentos. A meta é aumentar a vida de prateleira de produtos alimentícios sensíveis, mas a companhia se nega a revelar quais são eles.²⁰⁸ A LNKChemsolutions foi fundada pelo Dr. Gustavo Larsen, professor de engenharia química da Universidade de Nebraska (EUA).

Outras companhias estão trabalhando para utilizar tecnologias em escala nanométrica para criar “alimentos interativos” que funcionam usando uma liberação “por demanda”. A idéia é que o consumidor será capaz de escolher – segundo suas necessidades individuais estéticas e nutricionais, ou preferências pelo sabor da moda – quais componentes serão

ativados e então liberados, e quais não o serão. Os cientistas do consórcio NanoteK da Kraft estão desenvolvendo nanocápsulas cujas paredes se rompem sob diferentes frequências de microondas, de modo que o consumidor pode “ligar” novos sabores ou cores. Um sem número de nanocápsulas permaneceria dormente e apenas aquelas desejadas seriam acionadas. A Kraft também está trabalhando em sensores que serão capazes de detectar deficiências nutritivas em um indivíduo e depois responder com alimentos inteligentes que liberem moléculas dos nutrientes necessários.²⁰⁹

No início do próximo ano, os cientistas de alimentos se reunirão no centro de pesquisas da Nestlé, em Lausanne (Suíça), para discutir perspectivas nano e microscópicas para obter, na alimentação, a liberação e a absorção controladas de nutrientes - no primeiro simpósio internacional sobre “liberação da funcionalidade em sistemas complexos de alimentação:



abordagens inspiradas na física, da nano à microescala”.²¹⁰

Além de auxiliar na liberação de nutrientes, as nanopartículas poderão ser usadas em alimentos para alterar outras propriedades. Por exemplo, margarina, sorvete, manteiga e maionese, pertencem a uma classe de alimentos conhecidos como colóides, onde pequenas partículas estão dispersas em algum outro meio – líquido, gasoso ou sólido. A Unilever, a Nestlé e outras companhias estão realizando pesquisas e já detêm patentes sobre novas maneiras de fazer colóides utilizando nanopartículas que aumentarão a vida de prateleira, prolongarão a sensação do sabor na boca, alterarão a textura e melhorarão a estabilidade (vide Anexo 2).

Nutricosméticos: Comer é apenas uma das maneiras de liberar ingredientes ativos. A L'Oréal, com sede em Paris, a empresa líder mundial em cosméticos, já comercializa produtos para cuidados da pele contendo partículas em escala nanométrica.²¹¹ (A Nestlé detém 49% do capital da L'Oréal).²¹² Os “nanosomes” da companhia são diminutos sistemas de liberação intercelular que penetram a pele e então liberam Vitamina E. Segundo a L'Oréal, “Levando em conta que os interstícios da camada exterior da pele medem cerca de 100 nm, nanoveículos oferecem a melhor solução para o problema de transportar e concentrar ingredientes ativos na pele.”²¹³ Cosméticos contendo nanopartículas invisíveis não passaram despercebidos em recentes relatórios europeus sobre riscos potenciais associados a nanopartículas fabricadas. Um relatório da Royal Society (Reino Unido), publicado em julho de 2004, chamou a atenção sobre a escassez de dados toxicológicos a respeito de nanopartículas fabricadas.²¹⁴ Por serem utilizadas em alguns cosméticos e protetores solares, o relatório recomenda mais estudos sobre a penetração de nanopartículas fabricadas na pele e que os estudos toxicológicos realizados pela indústria sejam colocados no domínio público – sem dúvidas causando algumas rugas na L'Oréal.

As companhias de alimentos e cosméticos estão atualmente colaborando entre si para desenvolver “suplementos nutricionais cosméticos”. A L’Oréal e a Nestlé constituíram recentemente a Laboratoires Innéov, uma *joint venture* meio a meio. O primeiro produto da Innéov, chamado de “Innéov Firmness”, contém licopeno. O suplemento é ingerido oralmente e é dirigido a mulheres com mais de 40 anos que estejam preocupadas com a perda de elasticidade da pele.⁶⁴ Logo depois da Nestlé consolidar sua colaboração com a L’Oréal, Procter & Gamble e Olay anunciaram que estariam criando, conjuntamente, duas linhas de suplementos nutricionais – uma para a “Beleza” e uma para o “Bem-Estar.”²¹⁶ Como a propaganda desses suplementos particulares não anuncia que tecnologias em nanoescala estão sendo utilizadas, fica difícil de se ter certeza, uma vez que não há exigências de rotulagem. Em todo caso, as alianças de alimentos e cosméticos ilustram a tendência de diluir as fronteiras entre alimento, medicamento e cosméticos, uma tendência que a nanotecnologia provavelmente irá acelerar.

III. RECOMENDAÇÕES

Os produtos agrícolas geneticamente modificados chegaram ao mercado há menos de uma década, virtualmente sem discussão pública sobre seus riscos e benefícios, e dentro de estruturas de regulamentação que as organizações da sociedade civil tem descrito como inadequadas, sem transparência ou inexistentes. Como resultado, perguntas e controvérsias acerca de impactos sócioeconômicos, saúde e meio ambiente causados pelos alimentos GMs ficaram sem solução, e milhões de pessoas rejeitaram os produtos GMs. É inegável o paralelismo entre a introdução da biotecnologia e a nanotecnologia. Apesar das persistentes promessas da comunidade nanotecnológica de não repetir os mesmos erros grosseiros, ela tem seguido os passos da biotecnologia.

Ao permitir que produtos da nanotecnologia cheguem ao mercado na ausência de debate público e sem regulamentação, os governos, o agronegócio e as instituições científicas já comprometeram o potencial das tecnologias em escala nanométrica serem utilizadas de forma benéfica. O fato de não haver, atualmente, em qualquer lugar do mundo, normas de regulamentação para avaliar os novos produtos em escala nanométrica na cadeia alimentar, representa uma inaceitável e culposa negligência. Devido às preocupações generalizadas da sociedade sobre alimentos GM, resíduos de agrotóxicos, hormônios do crescimento e a doença da “vaca louca”, os produtores rurais e consumidores ficarão desalentados ao saber que os novos materiais em escala nanométrica já estão ou na mesa da cozinha, ou na mesa dos projetistas. Devem ser tomadas medidas para restaurar a confiança nos sistemas alimentares e para se ter certeza de que as tecnologias em escala nanométrica, se introduzidas, sejam feitas sob rigorosos padrões de saúde e segurança.

A recomendação mais importante que fazemos é que a sociedade se engaje profundamente em uma ampla discussão sobre o papel das tecnologias (nanométricas) convergentes nos alimentos e na agricultura. Qualquer esforço para limitar essa discussão a reuniões de especialistas, ou para focalizar apenas os aspectos sobre saúde e meio ambiente das novas tecnologias, será um erro, tanto para a sociedade como para a indústria que as propõe. Diferentemente do debate anterior sobre os GM, a discussão não deve ficar confinada somente a aspectos técnicos. A propriedade intelectual e outras formas de monopólios tecnológicos devem, também, vir para a mesa. Quem

controlará as tecnologias? Quem se beneficiará com elas? Quem terá o papel de decidir como as nanotecnologias afetam nosso futuro?

Reconhecendo que os governos já estão comprometidos pelo seu emaranhado de relações com o agronegócio e a indústria nanotecnológica, o Grupo ETC dirige suas primeiras e mais importantes recomendações aos nossos parceiros na sociedade civil. Além disso, apresentamos recomendações para governos e organizações intergovernamentais.

À Sociedade Civil: As ONGs e os movimentos sociais começam a reconhecer os potenciais impactos das tecnologias convergentes em escala nanométrica. Principalmente nas áreas de alimentos e da agricultura, é urgente que a sociedade civil trabalhe junto para encorajar a mais ampla discussão pública possível sobre as tecnologias em escala nanométrica e para garantir que os formuladores de políticas tomem as medidas apropriadas para salvaguardar a saúde, o bem-estar e os meios de vida dos produtores rurais e dos consumidores – e o bem-estar do meio ambiente. Especificamente:

- As organizações de pequenos produtores devem começar a monitorar as tecnologias em escala nanométrica que afetam suas regiões e meios de vida. Além de discussões internas e debates, essas organizações devem participar em discussões com toda a sociedade civil e com os governos.
- As organizações de consumidores deveriam não só acompanhar as nanotecnologias, mas também colocar seus membros a par dos produtos alimentícios e agrícolas e processos que envolvem nanotecnologia. Juntamente com organizações ambientalistas, as organizações de consumidores deveriam aplicar pressões políticas sobre os governos para criarem normas regulatórias para essas tecnologias e para encorajar o debate público.
- As organizações ambientalistas deveriam trabalhar mais junto às organizações de agricultores e de povos indígenas, para avaliar o impacto das tecnologias em escala nanométrica sobre cultivos e sobre a biodiversidade. Na falta de regulamentação apropriada, os produtos das nanotecnologias não devem ser liberados no meio ambiente.

Aos Governos: A curto e médio prazo, terão de ser tomadas medidas em nível nacional:

- Os governos nacionais devem estabelecer regimes de regulamentação *sui generis*, especificamente destinados a responder aos aspectos particulares ambientais e de saúde, associados aos materiais em escala nanométrica utilizados em alimentos e na agricultura.
- Invocando o Princípio da Precaução, todos os produtos alimentares, para rações e para bebidas (inclusive suplementos nutricionais) que incorporam nanopartículas fabricadas, devem ser removidos das prateleiras até o momento em que entrem em vigor as normas de regulamentação em condições de levar em conta as características especiais desses materiais, e até que se demonstre que tais produtos são seguros.
- As formulações de insumos agrícolas em escala nanométrica, como agrotóxicos, fertilizantes e de tratamento de solo, devem ser proibidas para liberação no meio ambiente até que novos regimes de regulamentação especificamente destinados a examinar tais produtos os considerem seguros.

- Deve haver uma moratória imediata em experimentos de laboratório e a liberação de materiais biológicos sintéticos no meio ambiente, até que a sociedade possa empreender uma análise meticulosa das implicações para a saúde, o meio ambiente e sócioeconômicas.

Aos Organismos Intergovernamentais: A fim de evitar lacunas ou distorções na regulamentação internacional, os governos devem trabalhar juntos através de agências especializadas das Nações Unidas, para assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores e dos consumidores; para salvaguardar o meio ambiente e a diversidade biológica; e para garantir o bem-estar sócioeconômico das pessoas em todos os países. Em particular:

- A Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização para Alimentos e Agricultura (FAO) das Nações Unidas, devem assegurar que o Codex Alimentarius seja atualizado para levar em conta o uso de nanopartículas e outras tecnologias em escala nanométrica nos alimentos e na agricultura;
- O Programa para Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) e a Convenção de Biodiversidade (CBD) devem examinar o possível impacto da nanotecnologia sobre a biodiversidade e o meio ambiente;
- A OMS deve realizar estudos de curto e longo prazo sobre os efeitos potenciais das nanopartículas e da nanotecnologia sobre a saúde de pesquisadores, trabalhadores na produção e consumidores;
- A Organização Internacional do Trabalho (OIT) e a UNESCO (Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura) devem estudar o possível impacto das nanopartículas e da nanotecnologia sobre o trabalho agrícola, a educação e o bem-estar econômico nos países altamente dependentes da produção ou exportação agrícola;
- A FAO e a Conferência Sobre Comércio e Desenvolvimento das Nações Unidas (UNCTAD) devem estudar os potenciais impactos das nanopartículas e da nanotecnologia na produção e comércio, inclusive alterações potenciais nas fontes de produção e nos preços;
- A Comissão Sobre Recursos Genéticos Para Alimentos e Agricultura da FAO deve realizar estudo imediato sobre o potencial impacto das tecnologias em escala nanométrica na diversidade genética e na melhoria de desempenho de plantas e animais;
- A UNESCO e a FAO devem realizar estudos para determinar as implicações das tecnologias em escala nanométrica sobre a pesquisa de alimentos e agricultura para o Sul, tendo em vista as recomendações sobre prioridades para a pesquisa agrícola nacional e internacional;
- A Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) deve examinar as implicações da propriedade intelectual no que diz respeito a produtos e processos resultantes da manipulação de elementos da tabela periódica, que possam levar à monopolização e a distorções nos mercados de alimentos e da agricultura;
- As Nações Unidas devem iniciar negociações para estabelecer uma Convenção Internacional para a Avaliação de Novas Tecnologias (ICENT, em inglês, como esta proposta começa a ser conhecida em nível internacional), para dar aos governos e à

sociedade, pela primeira vez, um sistema de alerta e escuta antecipadas, que permita à sociedade e à ciência se libertarem do ciclo de crises que acompanha cada nova introdução tecnológica.

O destino das tecnologias convergentes em escala nanométrica será determinado dentro dos próximos dois anos. Atualmente, a indústria e os governos estão se debatendo para se recuperarem de sérios tropeções que põem em risco o futuro da nanotecnologia. Ao final de 2004, há pelo menos três iniciativas globais em andamento para criar “diálogos entre múltiplos atores”, envolvendo a sociedade civil, indústria e governos. Entretanto, tais tentativas irão fracassar a menos que exista um compromisso claro para se ir além das organizações ambientalistas, envolvendo movimentos sociais, do Sul e do Norte – especialmente povos indígenas, organizações de agricultores, sindicatos, movimentos de direitos dos portadores de deficiências, organizações de mulheres e de consumidores. Por sua parte, o Grupo ETC não participará de qualquer processo de diálogo que não inclua toda a gama de atores da sociedade civil e que não encoraje o mais amplo debate social possível.

NOTAS:

1. IGD estima que o mercado global de varejo de alimentos seja de US\$ 2,8 trilhões. As estatísticas da população total vinculada à agricultura e das exportações agrícolas são de Jerry Buckland, *Ploughing Up the Farm*, Zed Books, 2004, p. 18 e p. 100.
2. Conforme citado por Philip Ball em “Nanotechnology science's next frontier or just a load of bull?” *New Statesman*, 23 de junho de 2003; disponível na Internet (a partir de 10.08.04) em 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,” estudo não publicado, Tübingen, março de 2004, p. 35.
4. Anônimo, “Global Nanotechnology Market to Reach \$29 billion by 2008,” Business Communications Company, Inc., News Release, 3 de fevereiro de 2004. Disponível na Internet: <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*, volume 28, número 14, 05 de abril de 2004, disponível na Internet (a partir de 24 de setembro de 2004) em: <http://ehscenter.bna.com/pic2/ehs.nsf/id/BNAP-5XRG6K?OpenDocument>
6. Relatório conjunto da National Science Foundation / Department of Commerce está disponível na Internet em http://wtcc.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf
7. Alfred Nordmann, relator, “Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies,” agosto de 2004. Disponível na Internet (a partir de 28 de setembro 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 Grupo ETC *Communiqué*, “The Strategy for Converging Technologies: The Little BANG Theory,” março/abril de 2003, nº 78. Disponível na Internet em <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=378>
12. Vicki L. Colvin, Diretora do Center for Biological and Environmental Nanotechnology, Rice University. Comentário feito durante “Nano-Vision 2014” um seminário realizado em 15 de setembro de 2004, em St. Gallen, Suíça.
13. Ver, por exemplo, “Ten Toxic Warnings,” em ETC Group, “Nano’s Troubled Waters,” *Genotypes*, 1º de abril de 2004, pp. 3-4. Disponível na Internet em : <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=445>
14. Eva Oberdörster, “Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass,” *Environmental Health Perspectives*, Volume 112, Número 10, julho de 2004.
15. Haum, Petschow, Steinfeldt, “Nanotechnology and Regulation within the framework of the Precautionary Principle. Final Report for ITRE Committee of the European Parliament,” Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH, Berlim, 11 de fevereiro 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*, baseado em um Seminário Nacional de

Planejamento, 18-19 de novembro de 2002, Washington, DC, setembro de 2003. Disponível na Internet em: www.nseafs.cornell.edu

17. McKnight, T.E. *et al.* "Intracellular integration of synthetic nanostructures with viable cells for controlled biochemical manipulation," *Nanotechnology* 14, pp. 531-556 (9 de abril de 2003). Veja também "Nanofibres deliver DNA to Cells," Genome News Network, http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06_03/nano.shtml

18. Kate Dalke, "Inside Information: Nanofibers Deliver DNA to Cells," 13 de junho de 2003, Genome News Network, http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06_03/nano.shtml

19. Para maiores detalhes sobre toxicidade de nanofibra/nanotubo de carbono ver, Grupo ETC, "Size Matters – the Case for a Global Moratorium," *ETC Group Occasional Paper*, abril de 2003. Disponível na Internet em: www.etcgroup.org/article.asp?newsid=392

20. Lux Research, *Nanotech Report 2004*, Vol. 1, p. 96.

21. Release do Grupo ETC, "Atomically Modified Rice in Asia?" 25 de março de 2004. Disponível na Internet em: www.etcgroup.org/article.asp?newsid=444

22. Ranjana Wangvipula, "Thailand embarks on the nano path to better rice and silk," *Bangkok Post*, 21 de Janeiro de 2004. Disponível na Internet em: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7266

23. Comunicação pessoal de Witoon Lianchamroon de BIOTHAI, 25 de março de 2004. Witoon falou com o Dr. Thirapat Vilaitong e outros cientistas no 'Fast Neutron Research Facility in Chaing Mai', por telefone.

24. *Ibid.*

25. Ranjana Wangvipula, "Thailand embarks on the nano path to better rice and silk," *Bangkok Post*, 21 de Janeiro de 2004. Disponível na Internet em: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7266

26. Release do Grupo ETC, "Atomically Modified Rice in Asia?" 25 de março de 2004. Disponível na Internet em: www.etcgroup.org/article.asp?newsid=444

27. Correspondência por correio eletrônico com Carolin Kranz, BASF, 27 de outubro de 2004.

28. WO03039249A3: "Nanoparticles Comprising a Crop Protection Agent."

29. Ver protocolo norte-americano para solicitação de patente n° 0040132621, "Microemulsion Concentrates", da Bayer Crop Science.

30. Ver por exemplo: http://www.engageagro.com/media/pdf/brochure/primomaxx_10pgbrochure_english.pdf

31. Ver folheto sobre Banner MAXX da Syngenta na Internet: http://www.engageagro.com/media/pdf/brochure/bannermaxx_brochure_english.pdf

32. *Ibid.*

33. Correspondência por correio eletrônico com Barbara Karn, EPA, 1° de novembro de 2004.

34. *Ibid.*

35. *Ibid.*

36. Syngenta, "A microscopic formula for success," no site da Syngenta: http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx

37. Janet Morrissey, "Flamel Tech Shares Up 46% on Pact with Monsanto," Dow Jones, 6 de Janeiro de 1998. Disponível na Internet a partir de 22 de setembro de 2004 em: <http://www.pmac.net/patent.htm>

38. Syngenta, "A microscopic formula for success," no site da Syngenta: http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx

39. *Ibid.*

40. Patente da Syngenta nos EUA N° 6,544,540, "Base-Triggered Release Microcapsules."

41. Syngenta, "A microscopic formula for success," no site da Syngenta: http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx

42. A patente da Syngenta, WO0194001A2, relaciona-se a nano e microcápsulas para produtos agroquímicos.

43. Rolf Daniels, "Galenic principles of modern skin care products", *Skin Care Forum* 25. Disponível na Internet: http://www.scf-online.com/english/25_e/galenic_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, N° 2, Verão de 2000. Disponível na Internet: <http://www.medicineatmichigan.org/magazine/2000/summer/nanonman/default.asp>

45. Ver, por exemplo, a Patente EP1037527B1: Microcapsules with readily adjustable release rates.

46. Ver, por exemplo, 'Syngenta's Zeon Microcapsules', detalhes na Internet: http://www.syngenta.com/en/products_services/karate_page.aspx

47. Ver, por exemplo, o release da University of Missouri, "Designing Smarter 'Smart' Drugs: MU Chemist's 'Nanocapsule' Could Revolutionize Drug Delivery," 1º de julho de 2002.
48. Ver, por exemplo, o protocolo norte-americano para solicitação de patente, nº 20040105877, "Controlled release pesticidal composition and method of making," Hargrove, Garrard L. *et al.*, 3 de junho de 2004.
49. Ver, por exemplo, a Patente norte-americana 6,200,598, "Temperature-sensitive liposomal formulation," Duke University, 2001.
50. Ver, por exemplo, o protocolo norte-americano para solicitação de patente nº US20020037306A1: 'Base-triggered release microcapsules', da Syngenta, 2002.
51. Concessão do USDA , 2002-00349, "Development of an Ultrasound-mediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish."
52. Ver, por exemplo, protocolo para solicitação de patente nº WO9959556A1, "Externally Triggered Microcapsules," da NASA/Johnson Space Center.
53. Ver concessão do USDA, 2002-00349, "Development of an Ultrasound-mediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish."
54. Syngenta, "A microscopic formula for success," no site da Syngenta : http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx
55. Malcolm T. Sanford, "Protecting Honey Bees From Pesticides," Circular 534, Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Publicação original de 25 de abril de 1993, Revisto em 1º de maio de 2003. Na Internet: http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_AA145#FOOTNOTE_1
56. James B. Petro, Theodore R. Plasse e Jack A. McNulty, "Biotechnology: Impact on Biological Warfare and Biodefense," *Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice, and Science*, volume 1, Número 3, 2003, p. 164. Disponível na Internet (a partir de 20 de setembro de 2004): http://www.biosecurityjournal.com/PDFs/v1n303/p161_s.pdf
57. The Sunshine Project, Backgrounder nº 13, janeiro de 2004, "Export Controls: Impediments to Technology Transfer Under the Convention on Biological Diversity." Disponível na Internet: <http://www.sunshine-project.org>
58. Dr. Yvon G. Durant do University of New Hampshire Advanced Polymer laboratory, "White Paper: Delivery of Chemicals by Microcapsules," preparado para a US Marine Corps, disponível no site do The Sunshine Project: <http://www.sunshine-project.org/incapacitants/jnlwdpdf/>
59. Jim Barlow, Remote-Sensing Lab Aims to Foster Growth of Precision Farming," University of Illinois at Urbana-Champaign Press Release, 2 de maio de 2001. Disponível na Internet: <http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html>
60. Kurt Lawton, "In the year 2013," *Farm Industry News*, 1º de março de 2003.
61. Versão rascunho de *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: aReport Submitted to Cooperative State Research, Research, Education and Extension Service*, baseado em um Seminário Nacional de Planejamento, 18-19 de novembro de 2002, Washington, DC, setembro de 2003; a minuta é a revisão B, 14 de fevereiro de 2003. Na versão final, a tecnologia "Little Brother" é referida simplesmente como "sistema de preservação de identidade."
62. <http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html>
63. Michael Kanellos, "Intel produces chips for next generation," 24 de novembro de 2003, disponível na Internet em: http://news.zdnet.com/2100-9584_22-5111327.html
64. Documento da Intel, "The Promise of Wireless Sensors," disponível na Internet: ftp://download.intel.com/research/exploratory/Promise_of_Wireless_Sensor_Networks.pdf
65. Gerry Blackwell, "The Wireless Winery," 23 de setembro de 2004, disponível na Internet: www.wi-fiplanet.com/columns/article.php/3412061
66. Documento anônimo da Intel, "New Computing Frontiers – The Wireless Vineyard," disponível na Internet: <http://www.intel.com/labs/features/rs01031.htm>
67. Ver página de Chris Pister na web sobre o pó inteligente: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/in2010>
68. Release de ONWorld, "Wireless Sensor Networks: A Mass Market Opportunity," 4 de março de 2004, na Internet: 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 julho de 2004, Vol.26, nº 29. Disponível na Internet: <http://www.processor.com>
71. *Ibid.*

72. Karen F. Schmidt, "Smart dust is way cool," *US News & World Report*, 16 de fevereiro de 2004. Disponível na Internet: www.usnews.com
73. Brendan I. Koerner, "Intel's Tiny hope for the Future," *Wired*, nº 11.12, dezembro de 2003.
74. David E. Culler e Hans Mulder, "Smart Sensors to Network the World," *Scientific American*, junho de 2004. Disponível na Internet: www.scientificamerican.com
75. Quentin Hardy, "Sensing opportunity," *Forbes Magazine*, setembro de 2003.
76. Chris Taylor, "What Dust can tell you," *Time*, 12 de Janeiro de 2004. Ver também, Barbara G. Goode, "A sure thing for Homeland Security," *Sensormag.com*, junho de 2004.
77. Michael D. Mehta, "Privacy vs. Surveillance – How to avoid a nano-panoptic future," *Canadian Chemical News*, nov.-dez. 2002, pp. 31-33.
78. Royal Society e Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, julho de 2004, p. 53. Disponível na Internet: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
79. Baseado na visão histórica de Kevin Binfield nos *Writings of the Luddites*, Baltimore e Londres: The Johns Hopkins University Press, 2004; disponível na Internet (a partir de 29 de setembro de 2004): <http://campus.murraystate.edu/academic/faculty/kevin.binfield/luddites/LudditeHistory.htm>
80. Lux Research, Inc., *Nanotech Report 2004*.
81. UNCTAD, Commodity Yearbook 2003. Disponível na Internet: <http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/indexen.htm>
82. Steve Waite, "Ross' Nano Gambit," 14 de agosto de 2003, *Forbes/Wolfe blog*, Disponível na Internet: <http://www.forbeswolfe.com/archives/000063.html>
83. Candace Stuart, "Nano-Tex Markets Brand To Become 'Intel Inside' of Nanomaterials", *Small Times*, 2002. Na Internet: <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, junho de 2004, pp. 1-2. Disponível na Internet (a partir de 20 de setembro de 2004): http://www.icac.org/icac/cotton_info/speeches/english.html
86. Jessica Gorman, "Super Fibres: nanotubes make tough threads" *Science News*, 14 de junho de 2003: Vol. 163, nº. 24, p.372.
87. Departamento do Comércio dos EUA, National Textile Center, Project M03-CL07s, "Functional Fabric with Embedded Nanotube Actuators/Sensors," na Internet: <http://mse.clemson.edu/htm/research/ntc/M03-CL07s-A3.pdf>
88. Rossari Biotech, "Nanotechnology: the new Buzzword II," 26 de agosto de 2004, disponível na Internet: <http://www.expresstextile.com/20040826/performancefabrics02.shtml>
89. International Rubber Study Group, "Rubber Industry Report," Vol. 3, Nº 12, junho de 2004, na Internet: <http://www.rubberstudy.com/report.aspx>
90. Wayne Arnold, "In Thailand, High Hopes for its Rubber Industry," *New York Times*, 26 de fevereiro de 2004.
91. *Ibid.*
92. Mongabay.com, "A brief History of rubber," na Internet: <http://www.mongabay.com/10rubber.htm>
93. Release da Rubber Manufacturers Association (EUA): "Predicted Growth of Tread Rubber Shipments to Continue," Washington, D.C., 19 de março de 2004.
94. Jim Hurd, *Silicon Valley Nano Report 1*, junho de 2004, na Internet: <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*, online, 29 de Janeiro de 2002. Na Internet: www.smalltimes.com
96. Anônimo, "Aerogels: 'Solid Smoke' May Have Many Uses," *SpaceDaily*, 5 de abril de 2004. <http://www.spacedaily.com/news/materials-04q.html>
97. Release, "New lightweight materials may yield safer buildings, longer-lasting tires: aerogels," American Chemical Society, 12 de setembro de 2002.
98. Patente norte-americana nº 6,527,022, "Pneumatic tire having a tread containing a metal oxide aerogel," 4 de março de 2003.
99. Tire Business, *Global Tire Report*, setembro de 2002.
100. Athene Donald, "Food for thought," *Nature Materials*, vol. 3, setembro de 2004, pp. 579-581.
101. *Ibid.*, p. 580.

102. Jenny Hogan, "100-metre nanotube thread pulled from furnace," *New Scientist*, 11 de março de 2004. <http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99994769>
103. Anônimo, "Waste fiber can be recycled into valuable products using new technique of electrospinning, Cornell researchers report," *Cornell News*, 10 de setembro de 2003. www.news.cornell.edu
104. *Ibid.*
105. Anônimo, Intellex News, "Solvent solutions," *Future Materials*, dezembro de 2003, na Internet: <http://www.intellex.com/FeatureDetail.asp?PubId=&NewsId=2469>
106. Liz Kalaugher, "Alfalfa plants harvest gold nanoparticles," *Nanotechweb*, 16 de agosto de 2002, na Internet: <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. Na Internet: 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 junho de 2003.
111. Greg Lavine, "Buckyballs boost fertilizer," *Salt Lake Tribune*, 23 de março de 2004, p. D1.
112. Patente WIPO, WO03059070A1, "The liquid composition for promoting plant growth, which includes nanoparticle titanium dioxide," atribuído a Choi, Kwang-Soo.
113. A.M. Prochorov *et al.*, "The influence of very minute doses of nano-disperse iron on seed germination," apresentação na "Ninth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology", 2001.
114. Grupo ETC, "Mulch ado about nothing? ...Or the 'Sand Witch?'" *ETC Communiqué*, setembro/outubro de 2003. Disponível na Internet: <http://www.etcgroup.org>
115. Release, "Nanoscale Iron Could Help Cleanse The Environment; Ultrafine Particles Flow Underground And Destroy Toxic Compounds In Place," National Science Foundation, 4 de setembro de 2003.
116. Andrew Scott, "The human genome on a chip," *The Scientist*, 3 de outubro de 2003. Na Internet: <http://www.biomedcentral.com/news/20031003/07>
117. International Consortium on Ticks and Tick-borne Diseases (ICTTD)/EMBO, "Integrated molecular diagnostics for tick-borne pathogens using RLB hybridization and micro-array based biochips," 27 de outubro de 2003, Universidade de Pretória, Department of Veterinary Tropical Diseases, Onderstepoort, África do Sul.
118. Affymetrics, Inc., United States Security and Exchange Commission Form 10-K, 31 de dezembro de 2003, disponível na Internet: http://media.corporate-ir.net/media_files/nsd/affx/presentations/affx_10k1.pdf
119. Charles Choi, "Holograms to sort, steer nanotubes, cells," United Press International, 3 de março de 2004. Ver também, Bill Snow, "Commercializing Killer Technology - Arryx," 29 de julho de 2003, na Internet: www.billsnow.com/Articles_Snow_VC101_2003_07_29_Commercializing_Killer_Technology-Arryx.htm
120. Anônimo, "Advanced Reproduction: Microfluidic engineering mimics nature to streamline assisted reproduction," *University of Illinois Emerging Technologies*, Office of the Vice President for Economic Development, sem data; na Internet: http://www.vpted.uillinois.edu/~pdf_files/i-emerging%20past%20pdfs/Advanced%20Reproduction.pdf
121. Kyle James, "Increasing Demand for Microfluidics Leads to Market Optimism," 28 de abril de 2004. Na Internet: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7777
122. Resumo de K. Jane, *Biochips and Microarrays*, novembro de 2000, na Internet: www.urchpublishing.com
123. Anônimo, "Nanoshells Cancer Treatment Proves Effective in First Animal Test: Laser Treatments Eradicate All Tumors from Mice in Trial," *Rice University Press Release*, 21 de junho de 2004; disponível na Internet (a partir de 8 de outubro de 2004): <http://media.rice.edu/media/Newsbot.asp?MODE=VIEW&ID=4469&SnID+698963046>
124. Lux Research, *Nanotech Report 2004*, Vol. 1, p. 200.
125. *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: Relatório apresentado a Cooperative State Research, Research, Education and Extension Service*, baseado no Seminário Nacional de Planejamento, 18-19 de novembro de 2002, Washington, DC, setembro de 2003, p. 9. Disponível na Internet: www.nseafs.cornell.edu
126. Anônimo, "pSivida Granted US Patent for Biosilicon," 4 de agosto de 2004, <http://www.azonano.com/news.asp?newsID=258>
127. Ver "Adhesin-Specific Nanoparticles," na Internet: <http://www.clemson.edu/research/ottSite/techs/nopatent/00237.htm>
128. Entrevista por telefone com o Dr. Robert Latour, Clemson University, 13 de setembro de 2004.

129. Barnaby J. Feder e Tom Zeller, Jr., "Identity Badge Worn Under Skin Approved for Use in Health Care," *New York Times*, 14 de outubro de 2004.
130. FAO, "State of the World's Fisheries and Aquaculture 2002," Part 1, Overview, 2002.
131. Anônimo, "Altair Nanotechnologies' Algae Prevention Treatment Confirmed Effective in Testing," Altair Press Release, 11 de março de 2004.
132. Anônimo, "Altair Nanotechnologies Files Patent on NanoCheck Algae Preventer for Prevention of Algae in Swimming Pools," Altair Press Release, 16 de dezembro de 2002.
133. Concessão do USDA, 2002-00349, "Development of an Ultrasound-mediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish."
134. Prochorov A.M., Pavlov G.V., Okpattah G.A.C., Kaetanovich A.V., "The effect of nano-disperse form of iron on the biological parameters of fish," apresentado na 'Tenth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology', Bethesda, EUA, outubro de 2002.
135. Rodney Brooks, "The Cell Hijackers," *Technology Review*, junho de 2004, p.31. Na Internet: <http://www.technologyreview.com>
136. Anônimo, "Building Blocks for Biobots," Berkeley Lab, *Science Beat Magazine*, 27 de agosto de 2004; Disponível na Internet: 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. Na Internet: http://www.sciam.com/print_version.cfm?articleID=0009FCA4-1A8F-1085-94F483414B7F0000
138. *Ibid.*
139. Anônimo, "Building Blocks for Biobots," Berkeley Lab, *Science Beat Magazine*, 27 de agosto de 2004. Disponível na Internet: http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sb/Aug-2004/2_biobots.html
140. Hutchison é citado no artigo de Steve Mitchell, "Scientists to Synthesize New Life Form," United Press International, 21 de novembro de 2002. Disponível na Internet: <http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=20021121-044419-1997r>
141. Release do DOE, "Researchers Funded by DOE 'Genomes to Life' Program Achieve Important Advance....," 13 de novembro de 2003. Na Internet: <http://energy.gov>
142. James Shreeve, "Craig Venter's Epic Voyage of Discovery," *Wired*, agosto de 2004, p. 151.
143. Ver Grupo ETC *Communiqué*, "Nanotech Un-gooded!" julho/agosto de 2003, disponível na Internet: <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=399>.
144. Stephen Benner, citado no Anônimo, "Evolving Artificial DNA?" *Astrobiology Magazine*, 27 de fevereiro de 2004. Disponível na Internet: <http://www.astrobio.net/news/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=845> (a partir de 20 de setembro de 2004).
145. *Ibid.*
146. Benner é citado em: Philip Ball, "Synthetic Biology: Starting from Scratch," *Nature* 431, pp. 624-626, 7 de outubro de 2004, na Internet: <http://www.nature.com/>
147. Philip Ball, "Synthetic Biology: Starting from Scratch," *Nature* 431, pp. 624-626, 7 de outubro de 2004, na Internet: <http://www.nature.com/>
148. Anônimo, "Futures of artificial life," *Nature*, Vol. 431, 7 de outubro 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 Wilsdon e Rebecca Willis, "See-Through Science: Why Public Engagement Needs to Move Upstream, Demos, 2004.
152. Moraru *et al.*, "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science," *Food Technology*, dezembro de 2003, vol. 57, nº 12, p. 25.
153. Entrevista por telefone com Jozef Kokini, Catedrático do Department of Food Science e Diretor do Center for Advanced Food Technology, Rutgers University, 14 de setembro de 2004.
154. Helmut Kaiser Consultancy, "Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide," estudo não publicado, Tübingen, março de 2004, p. 35.
155. *Ibid.*, p. 35.
156. Entrevista por telefone com Raphael Mannino, 8 de setembro de 2004.
157. *Ibid.*
158. Carmen I. Moraru *et al.*, "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science," *Food Technology*, dezembro de 2003, vol. 57, Nº. 12, p. 25.

159. Os termos “manufatura molecular” e “nanotecnologia molecular” referem-se a um método para criar produtos por meio de ferramentas moleculares, que permitem um controle, molécula a molécula, dos produtos e derivados, através da síntese química posicional, uma visão da nanotecnologia elaborada por K. Eric Drexler em seu *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (1990).
160. Ver, por exemplo, C. S. Prakash, Gregory Conko, “Technology That Will Save Billions From Starvation,” *The American Enterprise Online* (publicado em *Biotech Bounty*, março de 2004); disponível na Internet: http://www.taemag.com/issues/articleid.17897/article_detail.asp (a partir de agosto de 2004).
161. Wendy Wolfson, “Lab-Grown Steaks Nearing the Menu,” *New Scientist*, 30 de dezembro de 2002. Na Internet: www.newscientist.com
162. Kevin P. Phillips, *Wealth and Democracy*, (New York: Broadway Books) 2002, p. 52
163. Lublin, J.S., “A Lab’s Troubles Raise Doubts about Quality of Drug Tests in US,” *The Wall St. Journal*, 21 de fevereiro de 1978, p. 1.
164. Cass Peterson, “Panel Told Many Pesticides Tested by Discredited Lab Are in Use,” *Washington Post*, 28 de julho de 1983, p. A3.
165. Theo Colburn, Dianne Dumanoski, and John Peterson Myers, *Our Stolen Future*, Plume Book, 1997.
166. *Ibid.*
167. Anônimo, “U.S. market for smart packaging to surpass \$54 billion by 2008,” *Packaging Digest*, maio de 2004. Na Internet: http://www.packagingdigest.com/newsite/Online/online_exclusive8.php
168. Carmen I. Moraru *et al.*, “Nanotechnology: A New Frontier in Food Science,” *Food Technology*, dezembro de 2003, vol. 57, nº 12, p. 26.
169. Jack Uldrich, “Now you see it...,” *Advantage*, fevereiro de 2004, pp. 22-27. Disponível na Internet: <http://www.fmi.org/advantage/issues/022004/pdfs/pub/nowyouseeit.pdf>
170. *Ibid.*
171. Apresentação por Del Stark, do Institute of Nanotechnology, “Nanotechnology today: real life examples of nano applications” na conferência “Future of Nanomaterials”, 29 de junho de 2004.
172. Elizabeth Gardner, “Brainy food: Academia, industry sink their teeth into edible nano,” *Small Times*, 21 de junho de 2004.
173. Apresentação por Graham Moore, Pira International, “What Does Nanotechnology Mean For You?” na conferência “Future of Nanomaterials”, 29 de junho de 2004
174. Bruce Goldfarb, “Food-borne pathogens stimulating microarray-based biosensor development,” *Nanobiotech News*, vol. 1 Nº. 19, 10 de dezembro de 2003.
175. *Ibid.*
176. *Ibid.*
177. Este é o lema dos laboratórios Auto-ID, uma federação de seis universidades envolvidas nesta pesquisa nos EUA, Europa, Ásia e Austrália, fundada em 1999, para desenvolver uma arquitetura padrão, aberta, para criar uma rede global contínua de objetos físicos. Na Internet: <http://www.autoidlabs.org/aboutthelabs.html>
178. Ver <http://www.mindfully.org/Technology/2003/Wal-Mart-RFID4jun03.htm>
179. Entrevista com Michael Natan, Diretor Executivo da Nanoplex Technologies, por Pamela Bailey, disponível na Internet (11 de agosto de 2004): <http://news.nanoapex.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=14>
180. Apresentação de Michael Natan, Diretor Executivo da Nanoplex, “Nanotechnology to Track and Protect Packs,” na Conferência “Future of Nanomaterials”, 29 de junho de 2004.
181. Dr. Heribert Watzke, chefe de ciência dos alimentos da Nestlé, foi o primeiro a dizer uma frase semelhante ao título “No Fundo, o que se Está Cozinhando?” para descrever a automontagem em alimentos.
182. Elizabeth Gardner, “Brainy Food: academia, industry sink their teeth into edible nano,” *Small Times*, 21 de junho de 2002.
183. Jack Uldrich, “Now you see it...,” *Advantage*, fevereiro de 2004, pp. 22-27. Disponível na Internet: <http://www.fmi.org/advantage/issues/022004/pdfs/pub/nowyouseeit.pdf>
184. Alex Scott, “BASF takes big steps in small tech, focusing on nanomaterials,” *Small Times online*, 16 de dezembro de 2002. Disponível na Internet: www.smalltimes.com (a partir de 16 de julho de 2004).
185. *Ibid.*
186. *Ibid.*
187. Correspondência por correio eletrônico com o Dr. Herbert Woolf, BASF EUA, 27 de setembro de 2004.
188. Ver resposta do FDA à notificação da GRAS: <http://vm.cfsan.fda.gov/~rdb/opa-g119.html>. O FDA observou que poderia haver questionamentos se o licopeno fosse usado como aditivo corante.

189. Conversa por telefone com Robert Martin, 24 de setembro de 2004.
190. Entrevista por telefone com o Dr. Gerhard Gans, 4 outubro 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 'ETC Group Occasional Paper', "Size Matters!" 14 de abril de 2002, Disponível na Internet: <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, disponível na Internet: <http://www.nap.edu/books/0309065321/html/>
195. Ver <http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/get-cfr.cgi>
196. Tanto Cabot Corporation como Degussa vendem fumo de sílica (i.e., Cab-o-sil e Aerosil, respectivamente) com partículas em tamanho nanométrico. Conforme <http://www.radtech-europe.com/basf222003.html>, Aerosil 200 tem um tamanho médio de partículas de 12 nm e Cab-o-sil M5 um tamanho médio de partículas de 14 nm. Ver também, a descrição da patente norte-americana US6521261, "pharmaceutical excipient having improved compressibility," concedida a Edward Mendell Co.,EUA. Na patente refere-se que o tamanho das partículas varia de um diâmetro nominal de 7 nm (p.ex., Cab-O-Sil S-17 ou Cab-O-Sil EH-5) até um tamanho de partícula principal médio de 40 nm (Aerosil OX50).
197. Carmen Moraru *et al.*, "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science," *Food Technology*, dezembro de 2003, vol. 57, Nº 12, p. 27.
198. Bill Martineau do Freedomia Group, citado por Wendy Wolfson em, "Fish-Oil Cookies," *Technology Review*, setembro de 2004.
199. Grupo ETC, "Biotech's 'Generation 3'", *ETC Communiqué*, dezembro de 2000. Disponível na Internet: <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=158>
200. Ronald J. Versic, "Flavor Encapsulation: An Overview," disponível na Internet: <http://www.rtdodge.com/fl-ovrvw.html> (a partir de 16 de julho de 2004).
201. Nutralease, protocolo para solicitação de patente nº WO03105607A1, "Nano-sized self-assembled structured liquids," publicado em 24 de dezembro de 2003.
202. Correspondência por correio eletrônico com o Dr. Nissim Garti da Nutralease, 14 de setembro de 2004.
203. Anônimo, "Israeli Innovation Turns Junk Food into Health Food," *Israel21c online*, 5 de julho de 2004; disponível na Internet (a partir de 16 de julho de 2004): <http://www.israel21c.com/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=object&enDispWho=Articles%5E1722&enZone=Articles&enVersion=0&>
204. <http://www.rbcinfo.com>
205. <http://www.biodeliverysciences.com/bioralnutrients.html>
206. Entrevista por telefone com o Dr. Raphael Mannino, 9 de setembro de 2004.
207. *Ibid.*
208. Entrevista por telefone com o Dr. Gustavo Larsen, 7 de setembro de 2004. O Dr. Larsen não quis fornecer informações sobre as moléculas específicas com que trabalha. Para maiores informações, ver 'Current Research Information System' do USDA, "Nano-and Micro-Encapsulation of Food Additives and Agrochemicals." Disponível na Internet: <http://crisops.csrees.usda.gov>
209. John Dunn, "A Mini Revolution," *Food Manufacture*, 1º de setembro de 2004. www.foodmanufacture.com
210. <http://www.pgs.ch/delivery2005.htm>
211. Informações sobre os nanosomas da L'Oréal aparecem no website da companhia: <http://www.lorealusa.com/research/nanosomes.aspx>
212. L'Oréal é controlada pela holding francesa Gesparal, que pertence 51% à família Bettencourt e 49% à Nestlé.
213. *Ibid.*
214. Royal Society e Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities e uncertainties*, julho de 2004, p. 80. Disponível na Internet: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
215. Anônimo, release da L'Oréal, "Laboratoires INNEOV and L'Oréal: Bringing Cosmetic Nutritional Supplements to Market," 24 de outubro de 2002. Disponível na Internet (a partir de 26 de julho de 2004): http://www.lorealusa.com/press-room/full_article.aspx?idART=81&idHEADING=11
216. Anônimo, "Enhancing beauty from within," 18 de abril de 2003; disponível na Internet: <http://www.cosmeticdesign.com> A marca Olay é propriedade da Procter & Gamble.