

## NANOTECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE

Gian Carlo Delgado Ramos<sup>1</sup>

*Frente aos benefícios que a nanotecnologia promete trazer, uma série de implicações sociais, éticas e ambientais colocam-se do outro lado da balança. A temática é complexa não só pelas próprias características da nanotecnologia, senão também por sua grande amplitude em meio a um considerável cenário de incerteza e ignorância científico-tecnológica.*

*O presente texto reflete brevemente e exclusivamente sobre as principais implicações ambientais da nanotecnologia, deixando para outras ocasiões, aquelas referentes à saúde humana ou a questões sociais e éticas, entre outras.*

*Palavras chave: nanotecnologia, nanopartículas, meio ambiente, risco.*

### Preâmbulo

As promessas que a nanotecnologia<sup>2</sup> gera são de tal magnitude que vários países e suas multinacionais, a maioria de Estados capitalistas centrais, estão incrementando exponencialmente seus gastos em investigação. Diz-se que entre os campos de operação de maior potencial a curto e médio prazo figuram aqueles que permitem a construção de estruturas materiais de novo caráter; de aplicações no processamento, armazenamento e transmissão de informação; do desenvolvimento de sistemas sensoriais; ou de usos químicos e nano biotecnológicos. A longo prazo destaca, entre outras áreas, o potencial de autojunção da matéria (fabricação de autojunções ou nano fábricas e nano-robôs; se é que isso é técnica e fisicamente possível).<sup>3</sup>

De momento, quase todas as aplicações vêm girando em torno do aperfeiçoamento dos materiais existentes e na inovação de novos materiais. Eles estão sendo utilizados em produtos de luxo como bolas de tênis, golfe ou boliche (de modo a reduzir o número de voltas que dão as mesmas); nanopartículas de zinco para a fabricação de pneus de alto rendimento; fibras para a fabricação de telas com propriedades antimanchas ou anti-rugas; nanopartículas para cosméticos, farmacêuticos e novos tratamentos terapêuticos; filtros/membranas de água nanoestruturados e “remédios” meio-ambientais; melhora dos processos produtivos mediante a introdução de materiais mais resistentes e eficientes; ou o desenho de novos materiais para usos que vão desde a eletrônica, a aeronáutica e toda a indústria de transporte, até para seu uso em armas mais sofisticadas e de novo caráter (explosivos, balística, materiais antibala e stealth, etc).

As propriedades de tais materiais nanoestruturados, sustento dessas e outras aplicações, já geraram uma dupla chamada de atenção. Por um lado, observam-se os amplos benefícios que possibilitaria a reestruturação de praticamente todo o entorno material que nos rodeia. E, por outro lado, se identificam as possíveis implicações que essa transformação geraria no meio ambiente e daí, na saúde, posto que, estariam presentes novas nanopartículas e nanoestruturas desenhadas pelo ser humano (mais à frente simplesmente denominados nanopartículas ou nanoestruturas) e cujas características, em sua grande maioria, são ainda desconhecidas.

### Os principais tipos de nanopartículas

São quatro as principais classes nas que em geral são classificados os nanomateriais<sup>4</sup>.

a) os materiais de base de carvão: com formas esféricas, elipsoidais ou tubulares. Os fullerenos<sup>5</sup> esféricos são às vezes denominados como *buckyballs*, enquanto que os cilindros-tubulares como nanotubos. Suas propriedades fundamentais são

seu peso reduzido e sua maior durabilidade, elasticidade e condutibilidade elétrica, entre outras.

b) os materiais de base metálica: podem ser *quantum dots* (pontos quânticos ou transistores de um só elétron)<sup>6</sup> ou nanopartículas de ouro, prata ou de metais reativos como o dióxido de titânio, entre outras.

c) os dendrímeros: são polímeros nanométricos construídos em estrutura de árvore em que as ramificações crescem a partir de outras e assim sucessivamente. As terminações de cada cadeia de ramificações desenha-se para executar funções químicas específicas; uma propriedade útil para os processos catalíticos. Além disso, dado que haja cavidades internas, seu uso médico para a “entrega de droga” é factível (o mesmo acontece com o caso de algumas estruturas de carvão e metálicas).

b) os composites: combinam certas nanopartículas com outras ou com matérias de maior dimensão. O caso de argilas nanoestruturadas é um exemplo de uso estendido para a fabricação de diversos produtos (e.g. autopartes).

### **As implicações ambientais dos nanomateriais**

Demonstrou-se que as propriedades que estão se aproveitando das nanoestruturas e nanomateriais esboçadas acima (por exemplo, sua superfície altamente reativa e sua habilidade de atravessar membranas), poderiam resultar em perigos importantes, sobretudo com relação ao seu grau potencialmente elevado de toxicidade<sup>7</sup>.

As implicações ao meio ambiente com relação a tal toxicidade e a biodegradabilidade das nanopartículas e os efeitos delas a saúde das diversidades de espécies (incluindo a humana) tanto a curto prazo como a médio prazo são consideráveis, uma vez que estima-se que poderiam interferir nas funções vitais<sup>8</sup>. A bioacumulação e persistência das nanopartículas ao longo da

cadeia alimentícia são também um fator há observar de forma atenta<sup>9</sup>.

O assunto é complexo dado os vazios no conhecimento da nanociência e a nanotecnologia. Entre esses, identificam-se como dos mais importantes, a) a insuficiente definição “do ponto” no qual de fato as propriedades mudam em relação ao tamanho (macro/micro/nano escala), b) a limitada clareza sobre essas propriedades da nano escala, c) e o quase nulo conhecimento sobre as implicações da interação de tais ou quais nano estruturas com o meio natural<sup>10</sup>.

A engenheira ambiental Nora Savage da *Environmental Protection Agency (EUA)* indica a respeito. “... os compostos sobre os que temos dados toxicológicos, de destino/transporte ou de bioacumulação/ biodisponibilidade talvez necessitem ser re-analizados devido ao fato de que na nanoescala, as propriedades químicas e físicas usualmente se alteram [...] estamos aprendendo que: 1) estes materiais necessitam ser [física e quimicamente] bem caracterizados de modo que os resultados das investigações possam ser comparáveis; 2) que pode não ser tão apropriado examinar o uso de nanomateriais desenhados que o dos produtos consumíveis nos que esses são incorporados; 3) que não é suficiente afirmar que os nanomateriais fixados e inseridos em matrizes não implicam perigo ambiental ou humano algum – o destino final do produto deve ser considerado, se o produto é queimado, posto na terra com líquidos e gases reativos, reciclado, etc.”<sup>11</sup>

Vicki Colvin, diretora executiva do *Centre for Biological and Environmental Nanotechnology* da Rice University, garante então que, “... já seja um catalisador de zinco inserido no cacho de um pneu ou chumbo em pinturas para casas, a concentração de substâncias não naturais no meio ambiente incrementará em proporção direta com seu uso na sociedade. Se as aplicações de nanomateriais de engenharia desenvolvem-se com se têm projetado, o incremento de concentrações de nanomateriais nas

águas subterrâneas e a terra podem representar os canais de exposição mais significativos para avaliar os riscos meio ambientais”.<sup>12</sup>

Conforme notifica Mihail Roco, diretor do sub-comitê em “Nanoscale Science, Engineering and Technology” do National Sciences and Technology Council que assessora o executivo dos EUA, na atual conjuntura, as preocupações imediatas cobrem aspectos que vão desde um maior conhecimento sobre a toxicidade dos nano-produtos; os mecanismos e rotas de exposição a nano-produtos no ar, água e solo; até a efetividade de equipamento protetor para os que manuseiam tais produtos como roupa e respiradores; as reações celulares anti nanopartículas ou nanoestruturas, e os mecanismos de prevenção de escape de nanopartículas sintéticas no meio ambiente<sup>13</sup>.

Para isso, é necessário determinar de modo geral e particular, as características dos nanomateriais em interação com o meio natural (e conseqüentemente de suas possíveis transformações). Quer dizer, portanto, aspectos como: quais são seus mecanismos de transporte ou movimento em ar, terra e água e qual é o grau de sua capacidade de difusão (e.g. aerodinâmica; de filtração em meios porosos como a terra; ou de dissolução/dispersão em meios aquosos), de aglomeração, de deposição úmida e seca; de suas propriedades gravitacionais; de sua reatividade com moléculas ou nanopartículas naturais (não desenhadas ou nanoestruturas) e como isto afeta suas características gerais, incluindo sua toxicidade; ou de mudanças induzidas por reações fotocatalisadoras ou induzidas por condições anaeróbicas.<sup>14</sup>

E é que algumas das potenciais implicações das nanotecnologias já começam vislumbrar-se. A Royal Society subscrevia em 2004, “... a evidência sugere que pelo menos algumas nanopartículas manufaturadas serão mais tóxicas por unidade de massa que aquelas do mesmo químico, mas não de

maior dimensão. Essa toxicidade está relacionada à área de superfície das nanopartículas (que é maior com relação a sua massa que no caso das partículas maiores) e a reatividade química da superfície (que pode incrementar-se ou reduzir-se mediante o uso de uma dada película envolvente – *surface coatings*)”.<sup>15</sup>

Tal reatividade química da superfície das nanopartículas é de maior consideração ambiental, pois se considera que as enzimas naturais presentes no meio ambiente podem mudar as propriedades da superfície das nanopartículas e converte-las em coloides (partículas que não se conglomeram e que não se depositam, pelo que mantêm um alto grau de mobilidade em líquidos)<sup>16</sup>. Essas nanopartículas com características coloidais, conforme um informe da seguradora Swiss Re, poderiam ser idéias para transportação a longa distância (diga-se aquíferos) de material tóxico como contaminadores hidrofóbicos e metais pesados, por exemplo, ao reagir com moléculas maiores porém de menor mobilidade como as já contidas em fertilizantes e pesticidas<sup>17</sup>.

Igualmente adverte-se que, considerando a reatividade dos fulleros, eles se tornam potencialmente tóxicos, sobretudo se se leva em conta que são materiais lipofílicos que tendem a ser armazenados pelos organismos em zonas de tecidos gordurosos. Daí que Eva Oberdorster<sup>18</sup> fortaleceu que os fullerenos como o C60 pode induzir um stress oxidante nos cérebros dos peixes robalo. Mais ainda Lovern e Klaper<sup>19</sup> sugerem um considerável grau de mortalidade do *Daphnia Magna* (um pequeno crustáceo, popular alimento para peixes de aquário, e usualmente utilizado por sua sensibilidade em estudos ecotoxicológicos) quando são expostos a nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e ao fullereno C60.

Outros estudos de Gunter Oberdorster et al<sup>20</sup> sustentam também que, com base em estudos com ratos, as nanopartículas de carvão podem entrar diretamente desde o nariz até os lóbulos

olfativos e até o cérebro, através dos nervos olfativos (Mark, 12-14 de Outubro de 2004: 33).

Outros estudos indicaram que, além de que certos nanomateriais poderiam ser efetivos como agentes bactericidas tanto para bactérias positivas como negativas em dado cultivo, em particular os fullerenos do tipo C60 poderiam potencialmente inibir de modo importante o crescimento e respiração dos micróbios<sup>21</sup>. Assim mesmo, Yang e Watts<sup>22</sup>, reportam que as nanopartículas de alumínio (de 13 nanômetros) podem estar envolvidas na lentidão do crescimento das raízes de plantas como o milho, a abobrinha, soja, couve e cenoura. Ainda que, se as nanopartículas são cobertas com fenantrene (um hidrocarboneto aromático), citados efeitos se reduzem. O caso de nanopartículas de alumínio de maior dimensão não registrou tal impacto nas plantas e os resultados se limitam a ensaios de laboratório. De ser válido as demonstrações anteriores fora do laboratório, o impacto da massiva liberação dessas nanopartículas e nanoestruturas no meio ambiente poderia ser devastador, sobretudo naquelas zonas endêmicas e mega-diversas do universo.

Frente a tais e outras indagações científicas que de cara mostram como ainda é limitado o conhecimento sobre comportamento e características das nanoestruturas, a resposta geral dessa comunidade foi que os resultados são provisionais e que trazem mais perguntas que respostas, razão pela qual, ao dizer de Eva Oberdorster, trata-se no pior dos casos, mais bem dizendo de “sinais amarelos” e de nenhuma maneira de “sinais vermelhos”<sup>23</sup>. De qualquer modo, como acertadamente adverte Altmann, “... chama a atenção o fato de que as nanopartículas estejam sendo usadas em produtos fazendo só o uso da licença sobre o material bruto apesar de que cada artigo sobre a temática sustenta que 1) à nanoescala a matéria mostra diferentes propriedades, e 2) as nanopartículas podem entrar através dos poros aonde outras maiores não podem”<sup>24</sup>.

Efetivamente, tudo indica que os cuidados, as regulamentações e as responsabilidades de quem está desenvolvendo tais ou quais aplicações, não está correspondendo à complexidade desta frente tecnológica. Como adverte ETC Group desde 2004, “... a nanociência e a nanotecnologia estão se desenvolvendo em um vazio de regulamentação”<sup>25</sup>. A demonstração ainda é válida nos dias de hoje, ainda que há que confessar que a partir de 2005 se reconhece formal e de forma estendida a existência de potenciais perigos e a urgência de investigações maiores desde as quais eventualmente se desprenderiam as regulamentações “necessárias”.

Então não surpreende que neste panorama, ainda vazio de regulamentações, já existam centenas de produtos com nanoestrutura ou nanopartículas no mercado mundial, sem a menor regulamentação específica<sup>26</sup>. Nem ainda que acontecesse, talvez, um dos primeiros incidentes com um produto comercial que ao parecer faz uso de nanopartículas. Refiro-me ao bem conhecido caso do spray de limpeza “Nano Magic” da Kleinmann (Alemanha) que ocasionou em Abril de 2006 efeitos de intoxicação a 78 pessoas e que resultaria na retirada desse produto do mercado (ao menos provisoriamente)<sup>27</sup>.

Talvez, o mais coerente a princípio à suposta ausência de resultados contundentes sobre os potenciais riscos ambientais e a saúde seja, em efeito, a aplicação do princípio cauteloso<sup>28</sup>.

### **Nanopartículas e a condução e distribuição do risco**

No estudo dos possíveis impactos negativos da nanotecnologia, existe um acordo entre os conhecedores do tema a nível internacional – explícito e implícito – de legitimação do debate sobre as nanopartículas e os nanomateriais; não é assim no caso das implicações éticas e sócio-econômicas dos avanços resultantes das tecnologias convergentes (nanotecnologia-biotecnologia-eletrônica)

<sup>29</sup>. Ao mesmo tempo há igualmente uma generalizada desqualificação sobre os debates com relação aos perigos que poderia acarretar a nanotecnologia de manufatura molecular (do tipo de Eric Drexler) apesar de que ainda não se demonstrou cientificamente sua inviabilidade<sup>30</sup>. Ter presente esse cenário é útil quando damos conta do porque muitos especialistas insistem em falar dos riscos da nanotecnologia desde óticas enquadradas a diferentes tipos de nanotecnologia e a diversos quadros temporais de seu desenvolvimento.

Por exemplo, Berube indica de maneira certa, porém comprometida que, “... uma falsa crença nos estudos de risco foi que as conseqüências futuras terão que ser examinadas imediatamente às capacidades atuais para minimizar o grau de perigo. Para tanto, enquanto a nanotecnologia no ano de 2250 poderia incluir nanorobos replicantes, também incluiria meios avançados para aliviar os impactos que isso poderia gerar<sup>31</sup>”. Correto, mas trata-se de uma posição que perigosamente beira o *otimismo tecnológico* e que ao refugiar-se poderia resultar em uma postura política que minimize irresponsavelmente o grau de riscos das aplicações nanotecnológicas a longo prazo e que, além disso, não necessariamente seria encontrada, pois, num futuro próximo haveria possibilidade de se revelar fortes limites científicos-tecnológicos que restringiriam as soluções tecnológicas mencionadas e por fim, muitas conseqüências seriam então irreversíveis. Não obstante, deve-se notar que a minimização de riscos é sim uma posição política altamente funcional à lógica do capitalismo, pois, o importante é o aqui e o agora, as transações de mercado e os efeitos a curto prazo. Como diria Keynes, “a longo prazo todos estaremos mortos!”.

Além disso, devemos levar em conta que as repercussões do estreitamento do estudo sobre as implicações da nanotecnologia a longo prazo (por essas e outras razões) são muito mais sutis do que parecem. Por exemplo, o motor de combustão interno por si só não gera grandes impactos.

Entretanto, quando vemos a longo prazo o emprego massivo deste, nos deparamos com repercussões não só em relação à disponibilidade de fontes de combustível, senão sobretudo com os efeitos que produzem os gases gerados pela queima desses em milhões de motores funcionando de uma vez. As soluções tecnológicas para o motor de combustão interna na maioria dos casos já existem, certamente, mas os impactos sobre o efeito no inverno e o aquecimento global já são patentes. E mais ainda, a implementação de contra medidas tecnológicas já não dependem da existência de tais soluções, senão de interesses sócio-econômicos e relações sócio-políticas estabelecidas. Portanto, a potencial e eventual “minimização” dos efeitos de uma tecnologia dada a longo prazo – pela via do próprio desenvolvimento tecnológico – não parece ser conveniente pois as conseqüências das nossas decisões atuais terão que ser resolvidas (ou não) pelas gerações futuras, se é que nossos cálculos sobre o avanço tecnológico foram corretos e se nossa dimensão de precaução sobre a ampliação dos efeitos e implicações foi a “adequada”.

Convém então se perguntar, até que ponto vale a pena correr os riscos de abrir a caixa de Pandora da nanotecnologia no futuro e a que custo; sobretudo num cenário em que boa parte da investigação, nas palavras de Dra. Dehmer, do *Office of Basic Energy Sciences* do Departamento Energia dos EUA, está centrando em uma linha: “...tomar diferentes tipos de nanoestruturas nas que a natureza não pensou, colocá-las juntas em diversas formas de modo que possamos fazer coisas que a natureza não fez e, em particular, fazer coisas que sejam mais robustas que os sistemas naturais<sup>32</sup>.”

No caso das nanopartículas terão que realizar, então, estudos sobre sua reatividade *per se* e suas interações com o meio ambiente, não apenas imediatas e reduzidas a espaços determinados, senão também a longo prazo e numa situação de saturação ambiental com diversas nanopartículas brotando e

potencialmente reativas que, além disso, não têm nada de natural pois o homem as desenharam (se fossem tão convencionais para que se estariam nano-fabricando?). As aproximações do fluxo dos nanomateriais desde a perspectiva da Ecologia Industrial podem ser de grande ajuda para tal propósito.

O mesmo acontece com as nanopartículas em relação à saúde humana, pois a investigação cautelosa não só deve girar entorno das análises toxicológicas (exposição imediata) senão às potenciais implicações a longo prazo que poderiam gerar uma convivência permanente com essas nanopartículas (diga-se potenciais modificações genéticas hereditárias<sup>33</sup>).

A incerteza do que qualifica atinadamente Paulo Martins<sup>34</sup> como a criação de uma “nova natureza” sugere ser maior, ao grau que seguradoras como Allianz AG (Alemanha), já consideram que, “...os riscos da nanotecnologia terão que ser parte da pasta dos seguros industriais<sup>35</sup>.”

Portanto, a incerteza da disrupção nanotecnologia e o custo dos acidentes que eventualmente poderiam, ou não, acontecer terão de ser levados em consideração, mas evitando as soluções com uma tingida de otimismo tecnológico e tomando nota das particularidades vistas em toda sua amplitude espaço-temporal. Com esse tipo de exercícios de reflexão pode-se visualizar melhor os possíveis custos das decisões tomadas hoje, quem são as pessoas que pagariam esse custo agora e nas gerações futuras, e quem são as pessoas que receberiam tal ou qual benefício (potencial ou real). É que, não é mais que ter claro a complexidade do assunto tanto a curto, médio como em longo prazo que se possa tomar decisões mais responsáveis – ainda que não necessariamente corretas – e mais ainda, socialmente combinadas (com a sempre complexa questão de como levar em consideração “as opiniões” das gerações futuras).

Nessa conjuntura de administração do risco e independentemente da maneira em que foi gerida (pró-ativa e/ou reativa; já seja no ‘aqui e agora, amanhã e depois’), Andrew

Maynard sugeria a princípios de 2006 que os governos e a indústria devia incrementar seus gastos em investigação sobre os riscos ambientais e a saúde das nanotecnologias, pois dos 9 bilhões de dólares que se gasta a nível mundial em IyD nanotecnológico, somente são destinados a investigações de riscos entre 15 e 40 milhões por ano. É suficiente? Questionava Maynard ao mesmo tempo em que repondia: “... bom, creio que isso depende de quão sério somos enquanto ao desenvolvimento das nanotecnologias seguras<sup>36</sup>”.

Esta indicação já havia sido posta sobre a mesa desde antes por ETC Group quando advertia em 2004 que devido a que as aplicações e as implicações estão misturadas no então 11% do pressuposto governamental dos EUA em “Investigação Nanotecnológica em Saúde e Meio Ambiente”, realmente é difícil saber que tanto do financiamento é destinado a determinar o risco e a toxicidade e que tanto ao desenvolvimento de produtos para ser utilizados no meio ambiente ou a medicina<sup>37</sup>.

Não é casual que David Rejeski diretor do projeto em Nanotecnologias Emergentes do Woodrow Wilson Internacioanl Center for Scholars indicara em uma audiência perante a Casa de Representantes dos EUA que, “... necessitamos de uma completa e transparente revelação de todas as investigações em meio ambiente, saúde e seguridade que estão sendo financiadas pelo governo – e de todos os projetos, não apenas o resumo monetário deles. Isso nos permitirá identificar os vazios, melhorar a associação com a indústria e com outros países para preencher esses vazios e, a margem, estrategicamente inverter ou não inverter<sup>38</sup>”. E agregava: “... estaremos nos enfrentando com riscos nanotecnológicos por décadas. Estes riscos serão mais complexos conforme a nano e a biotecnologia convirjam, e não menos...Devemos nos preparar para o inesperado. A nanotecnologia está planejada para ser

disruptiva pelo qual não é algo que deveríamos estar engrandecidos ou muito seguros<sup>39</sup>.”

E em meio a tudo isso, você necessita e/ou quer o desenvolvimento da nanotecnologia?

### Notas

<sup>1</sup> Economista mexicano. Magistrado em Ciências Ambientais. Investigador do programa ‘O mundo no século XXI’ do Centro de Investigações Interdisciplinares em Ciências e Humanidades da Universidade Nacional Autónoma do México.

<sup>2</sup> A descrição lingüística mais adequada de nanotecnologia, talvez seja aquela contida nas definições oficiais e que em geral coincidem no que se trata de uma tecnologia que opera a nano escala, quer dizer que trabalha em dimensões entre  $10^{-6}$  a  $10^{-9}$  de metros, ou sendo mais precisos, aquela que, como indica a Royal Society, opera manipulando estruturas e suas interações entre os 100 nanômetros (nm) até o tamanho dos átomos (aproximadamente 0,2nm). Isso responde a que essa (nano) escala as propriedades dos materiais podem ser muito diferentes daquelas à macro escala (Royal Society, Nanoscience na nanotechnologies: opportunities and uncertainties. Londres, Julho de 2004). Não obstante, algumas disciplinas como a denominada nanofotônica, continuam essencialmente fazendo o mesmo tipo de investigações que quando se denominava “fotônica”. O caso é compartilhado por outras áreas do conhecimento científico-tecnológico, o que sugere que citada tendência de disciplinas mães e filhas (nano) seja reflexo de uma debilidade das fronteiras entre as disciplinas que operam em uma mesma escala, mas não como produto de uma convergência espontânea senão como conseqüência do avanço do conjunto das forças produtivas capitalistas dos finais do século XX e do que será o século XXI. Para uma reflexão sobre a problemática de definir o que é nanotecnologia, ver: Delgado,

Gian Carlo. “Sociologia Política da Nanotecnologia Civil e Militar” em Foladori e Invernizzi (eds). Nanotecnologias Disruptivas. Porruá. México, 2206.

<sup>3</sup> Para uma breve discussão, ver: Delgado, Gian Carlo. “Promessas e Perigos da Nanotecnologia”. Revista Crítica de Ciências Sociais e Jurídicas. Nº 9. Espanha, Janeiro-Junho de 2004. ([www.ucm.es/info/nomadas/9/giandelgado.htm](http://www.ucm.es/info/nomadas/9/giandelgado.htm)).

<sup>4</sup> Classificação obtida de: Environmental Protection Agency, Nanotechnology White Paper. EPA’s Science Policy Council. EUA, 2 de Dezembro de 2005:6.

<sup>5</sup> Um fullereno é a terceira forma alotrópica de carbono (diamante, grafite e fullereno). Foi descoberto em 1985 como uma substância aonde cada molécula possuía 60 átomos de carbonos encadeados de maneira esférica e elipsoidal. Ainda que o C60 é o mais comum, também existem fullerenos de carbono de mais átomos como o C70, C84, C240, C540. Em 1991 detectou-se uma forma a mais de carbono, o “nanotubo”. Um nanotubo é um fullereno muito grande, porém em forma linear.

<sup>6</sup> Um ponto quântico é uma estrutura cristalina a nanoescala que pode transformar a luz. Pode-se definir com uma partícula de matéria tão pequena (70% de seus átomos são de superfície) que a adição de um único elétron produz mudanças em suas propriedades. O ponto quântico considera-se que têm uma maior flexibilidade que outros materiais fluorescentes, o que o faz apropriado para utilizá-lo em construções a nanoescala de aplicações computacionais aonde a luz é utilizada para processar a informação. Os pontos quânticos estão feitos de uma variedade de diferentes componentes, tais como cádmio selênio (Dicionário de Conceitos de Euroidentes, em:

[www.euroidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/puntos\\_cuanticos.htm](http://www.euroidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/puntos_cuanticos.htm)).

<sup>7</sup> Royal Society, The, Julho de 2004. Op cit: 35.

<sup>8</sup> Ibidem,

<sup>9</sup> A bioacumulação de nanopartículas é em boa medida determinada pelas propriedades de suas superfícies, e em sua vez define se são retidas por tecidos gordurosos, osso ou proteínas do corpo. A persistência dependerá em troca de sua decomposição ou modificação pelo meio ambiente (Roya Society, The, Julho de 2004: 45).

<sup>10</sup> Ver: Delgado – Ramos, Gian Carlo. Nano-Conceptions: A Sociological Insight of Nanotechnology Conceptions. Espanha, Junho de 2006: 11-16.

<sup>11</sup> Delgado, Junho de 2006: 14.

<sup>12</sup> Colvin, Vicki. “The potencial environmental impact of engineered nanomaterials”, Nature Biotechnology. Nº 21. EUA, 2003: 1166-1170.

<sup>13</sup> Roco, Mihail. “Responsible of Nanotechnology. Environmental Science & Technology. EUA, 1 de Março de 2005: 108 A.

<sup>14</sup> EPA, 2 de Dezembro de 2005. OP cit: 35-8.

<sup>15</sup> Royal Society, Julho 2004. OP cit: ix.

<sup>16</sup> Por exemplo, Colvin sustenta que certos nanomateriais poderiam absorver pequenos contaminadores como o cádmio e outros compostos orgânicos. E, conseqüentemente como os colóides, poderiam ser uma via de transporte rápido e a longa distância de contaminadores nas águas subterrâneas (Colvin, Vicky. “Responsible Nanotechnology: Looking Beyond the Good News”, EurekAlert! Nanotechnology In Context. Novembro de 2002. Disponível em: <http://eurekaalert.org/contetxt.php?context=nano&show=essays&essaydate=1102>).

<sup>17</sup> Hett, Annabelle. Nanotechnology. Small matter, many unknowns. Swiss Re. Zurich, 2004.

<sup>18</sup> Ver: Oberdorster, E. “Manufactured nanomaterial (fullerenos, C60) induce oxidative stress in the brain of juveniles largemouth bass”, Environmental Health Perspectives. vol. 12 Nº 10. EUA, 2004: 1058-1062.

<sup>19</sup> Lovern, Sarah B., y Klaper, Rebecca. “Daphnia Magna Mortality When Exposed to Titanium Dioxide and Fullerene (C60) Nanoparticles.” *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol 25. No. 4. EUA, 2006: 1132-1137.

<sup>20</sup> Ver: a) Oberdorster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W., and Cox, C. “Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain.” *Inhalation Toxicology* No.16. EUA, 2004: 437-445; b) Oberdorster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Lunts, A. et al. “Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats.” *Journal of Toxicology and Environmental Health*. A 65 EUA, 2002: 1531-1543.

<sup>21</sup> Ver, EPA, 2 de Dezembro de 2005. Op cit: 59.

<sup>22</sup> Yang, L., Watts, D.J. “Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles.” *Toxicology Letters*. No.158:122-132.

<sup>23</sup> Feder, Barnaby J. “Health Concerns in Nanotechnology.” *The New York Times*. EUA, 29 de Março de 2004.

<sup>24</sup> Delgado-Ramos, junho de 2006: 14). Dr. Jürgen Altamann trabalha em el Experimentelle Physik III da Universidade de Dortmund (Alemanha).

<sup>25</sup> Palavras de Dr Kathy Jo Wetter. Cita tomada de Delgado-Ramos, maio de 2006: 14. Ver também citada indicação em: ETC Group, “Nanotech Advancing in Legal Vacuum”, *ETC Group News Release*. Canadá, 30 de Junho de 2004. ETC Group também se colocou na vanguarda da comunicação pública sobre os potenciais efeitos ambientais das nanopartículas desde 2002. Consulte-se pontualmente: ETC Group, Não é pouca coisa! As partículas nanotecnológicas penetram as células vivas e se acumulam nos órgãos animais”, *Communiqué*. Canadá, Maio-Junho de 2002.

<sup>26</sup> Para uma lista de produtos que abertamente reconhecem o uso das nanopartículas, ver a página do projeto

em “Nanotecnologías Emergentes” do Woodrow Wilson International Center for Scholars em: [www.nanotechproject.org/index.php?id=44&action=view](http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44&action=view)

<sup>27</sup> O caso foi resultado de um alto grau de irresponsabilidade desde o ponto de vista em que se veja. A versão da empresa é que o produto é o único produzido por uma filial (cujo nome não revelou), razão pela qual não se teve os mesmos níveis de controle em comparação com o resto dos produtos da companhia (incluindo outros que também usam nanopartículas ou não, e nesse ocasião, trata-se de um caso de impertinência e não de incerteza da nanotecnologia per se pois Kleinmann provavelmente desconhecia os estudos de segurança ambiental e à saúde sobre os compostos que estava utilizando. Não obstante, o produto estava etiquetado como seguro. Ver: Weiss, Rick. “Nanotech Product Recalled in Germany”, The Washington Post. EUA, 6 de abril de 2006. Para a versão de Leinmann, consulte: [www.kleinmann.net/html/index.php?name=News&file=article&sid=117](http://www.kleinmann.net/html/index.php?name=News&file=article&sid=117)

<sup>28</sup> ETC Group entre outros vêm fazendo um chamado de urgência para aplicar o princípio cauteloso na IyD das tecnologias convergentes (ETC Group, *The Big Down*. Canadá, 2002). O princípio cauteloso é entendido como um marco de aproximação e reflexão que é empregado em situações de previsão que se caracterizam por ser incertas e cheias de ignorância e nas que existe custos potenciais maiores, tanto para ação como para a não ação de regulamentação. Seu uso deveria dar-se especialmente em situações nas quais existe incerteza no conhecimento científico. Ver Comissão Européia, *Late Lessons from Early Warnings: the precautionary principle 1896-2000*. Office for Official Publications of the European Communities. Bélgica, 2001.

<sup>29</sup> Por exemplo, entre as mais questionáveis estão aquelas aplicações dirigidas à manipulação do corpo mediante

sofisticados implantes ou outros procedimentos e que estão sendo qualificadas pelos EUA como a “melhora do corpo humano” (o que quer que isso signifique). Ver: Roco, Mihail e Bainbridge, William. *Converging Technologies for Improving Human Performance*. National Science Foundation. EUA, Junho de 2002.

<sup>30</sup> Uma das principais razões de citada qualificação sem basear-se em uma séria e atenta avaliação científica de sua viabilidade é que Drexler advertia que a pesar dos imensos benefícios que este tipo de nanotecnologia poderia oferecer, ao mesmo tempo, poderia trazer complexos problemas como o que denomina gray-goo ou nanorobots auto replicáveis fora de controle (Drexler, Eric. *Engines of Creation*. Anchor Books. EUA, 1986). A aceitação da remota possibilidade de tal risco (se é que é física e tecnicamente é possível) resulta em termos políticos inaceitáveis, pois significaria a rejeição pública da investigação e desenvolvimento da nanotecnologia, o que complicaria e restringiria seu avanço e afetaria os fortes interesses no nanonegócio. Para uma discussão crítica a respeito, ver: Mody, Cyrus. “Small, but Determined: Technological Determinism in Nanoscience”, *International Journal for Philosophy of Chemistry*. Vol. 10. No.2 2004: 99-128. Também consulte, Delgado, 2006. Op cit. Para uma reflexão de ficção-científica, ler por exemplo: Crichton, Michael. *A Presa*. Random House Mondadori. México, 2004.

<sup>31</sup> Berube, David. *Nano-Hype*. Prometheus Books. EUA, 2005: 278.

<sup>32</sup> Palavras da Dr. Patricia M. Dehmer do Departamento de Energia perante uma audiência do Senado dos EUA. Ver: United States Senate. *Roundtable on Health Technology*. Hearing of the Committee on Health, Education, Labor, and Pensions. No. 108-247. US Government Printing Office. EUA, 23 de Setembro de 2003: 7.

<sup>33</sup> Anota-se um estudo de Yusaku Nakabeppu *et al*, no qual sugere que os agentes meio-ambientais com capacidade de

causar mudanças climáticas no DNA podem incrementar ao longo da vida a quantidade de mutações que ocorrem em nossos DNA durante a formação de óvulos ou células espermatozoides, e, portanto, herdar tais mutações que poderiam influir fortemente na reordenação dos cromossomos (Coghlan, Andy. “How Chemicals Can Speed Up Evolution”, *New Scientist*. EUA, 6 de mayo de 2006: 16).

<sup>34</sup>Delgado, Junho de 2006. Op cit.

<sup>35</sup>Allianz AG, Junho de 2005. Op cit: 5. A seguradora especifica que, “... vários pontos básicos definem possíveis cenários de riscos por nanopartículas: a) um alto acréscimo no número de pessoas que estarão expostas; b) potenciais efeitos danosos que se espera desenvolver em longos períodos de vários anos; c) em casos individuais, será difícil estabelecer uma relação casual entre as ações de uma companhia e a resultante injúria do dano; d) a exposição ocupacional é a maior preocupação; e) uma certa proximidade com maiores perdas do passado será evidente” (Lauterwasser, Christoph. *Opportunities and Risks of Nanotechnologies*. Allianz AG. Center for Technology / OECD. Londres, Junho de 2005: 5).

<sup>36</sup>Maynard é membro do projeto de Nanotecnologías Emergentes do Woodrow Wilson International Center for Scholars (EUA). Ver: “Nanodollars”. *New Scientist*. EUA, 25 de Fevereiro de 2006: 25. E “Nano safety call”. *New Scientist*. EUA, 11 de Fevereiro de 2006: 7. Em relativo acordo com os dados de Maynard y Rejeski, a EPA confirma que desde 2001 financiou 39 projetos para o desenvolvimento de nanotecnologías da prevenção de poluição pelo montante de 11 milhões de dólares e mais 32 para indagar nos potenciais impactos e implicações por uma cifra de 10 milhões (Environmental Protection Agency. *Nanotechnology White Paper*. EPA’s Science Policy Council. EUA, 2 de dezembro de 2005: 13-4). Isso sugere que em 5 anos a EPA destinou em pró do meio ambiente pouco mais de 4 milhões de dólares anuais dos quais apenas 2 são especificamente para

perigos potenciais. Em outras palavras, se anotamos que nos dois últimos anos o pressuposto oficial total em nanotecnologia desde a NNI ronda o milharo de dólares, então o gasto com investgiação sobre os perigos potenciais meio-ambientais não supera o 0,2% do gasto total anual.

<sup>37</sup>ETC Group. “Nanotech News in Living Colour: An Update on White Papers, Red Flags, Green Goo, Grey Goo” *Communique*. No. 85. Canadá, Maio/Junho de 2004.

<sup>38</sup>Rejeski, David. “Environmental and Safety Impacts of Nanotechnology: What Research is Needed?”. Pronunciamento perante o Comitê de Ciencia da Casa de Representantes. EUA, 17 de Novembro de 2005.

<sup>39</sup>Ibidem.

#### Observações da tradução do texto:

**Fullero** – a palavra no sentido figurado quer dizer *Precipitado*. Verificar o termo técnico mais apropriado.

**Disruptiva** – É preciso encontrar uma definição para essa palavra, uma vez que não foi encontrada em nenhum dicionário.