

NANOTECNOLOGIA

“Há muito espaço lá embaixo!”

*Wilmar Luiz Barth**

Resumo

O autor apresenta uma das mais fantásticas novidades tecnológicas dos próximos anos, demonstrando sua importância, aplicabilidade e benefícios, além de chamar a atenção para os eventuais riscos humanos e ambientais. A novidade deste artigo está em expandir a reflexão para o campo bioético. Sua leitura permite o acesso fácil ao que desenha ser essa nova tecnologia, seus custos e efeitos econômicos. O mérito do artigo reside na afirmação de que o homem, tanto no universo interplanetário, quanto numa casca de noz, está em busca de si e sempre lá se encontra com Deus.

Palavras-chave: nanotecnologia; desenvolvimento tecnológico; bioética; física.

Abstract

The author presents one of the most fantastic novelties of the near future, showing its importance for the benefits and also the dangers for human beings. This article aims to reflect on the philosophical, anthropological and theological aspects of nanotechnology and its repercussions on economical effects. In their searches human beings want to know themselves and everywhere they find God.

Key words: nanotechnology; technological development; bioethics; physics.

* Doutor em Teologia Moral e Prof. na PUCRS.

Introdução

Essa revolução verdadeiramente revolucionária deverá ser realizada, não no mundo exterior, mas sim na alma e na carne dos seres humanos¹.

Você já ouviu falar em “nanotecnologia” ou “nanotecnologias”?

Ainda não temos muita coisa escrita sobre o tema, e as pesquisas científicas ainda estão engatinhando. As palestras, os seminários e teses estão alargando as discussões e se percebe até um nanootimismo no ar, algumas vezes acompanhado de um nanopessimismo. Meu artigo pode servir como uma espécie de guia e porta de acesso a esse novo mundo que se vislumbra.

A humanidade sempre apresentou problemas com as inovações tecnológicas. Às vezes, a sociedade se divide diante delas. As decisões políticas se contradizem ou priorizam os interesses econômicos. Os grupos, movimentos e organizações sociais também expressam parecer diverso. A falta de experiência e a incerteza dos seus efeitos estão no epicentro dessa problemática. A nanotecnologia é definida como sendo a 5ª revolução industrial.

No ano passado, celebramos o Ano Mundial da Física. Stephen Hawking, no seu livro *O universo numa casca de noz*, resgata uma afirmação da obra *Hamlet*, de Shakespeare: “*Eu poderia viver recluso numa casca de noz e me considerar rei do espaço infinito*”. Com esta afirmação, assim como todo o capítulo, que reflete sobre as modernas concepções do universo e as tentativas de explicação da origem do mesmo, percebe-se a e-

¹ HUXLEY, Aldous. *O admirável mundo novo*. 2. ed. São Paulo: Globo, 2001, p. 25.

xaustiva e incansável tentativa humana de alargar o olhar sobre o universo e a tentativa de compreensão e explicação do mesmo.

O homem sempre olhou para o céu, as estrelas e planetas, perguntando-se sobre a possibilidade de existir vida fora do planeta Terra. Será que existe algo além? Quem criou tudo isso? O céu tem limites?

Essa cosmovisão fez o homem reconhecer a existência de alguém maior, um Criador. Se existe o infinito, deve também existir um Ser infinito. O fato é que, quanto mais se conhece o universo, maior ele se torna e maiores são as nossas dúvidas.

A nanotecnologia vai em direção oposta e, o que é interessante, não deixa de causar o impacto e surpresa semelhante na mente humana. Neste caso, deve-se reconhecer que o Criador se esconde nos altos céus e nos abismos, convicção cantada pelo próprio salmo bíblico. É a partir dessa constatação que se direciona este artigo. Deus se esconde na imensidão do universo e na menor realidade do que tocamos.

O que é nanotecnologia

O termo “nanotecnologia” foi cunhado por Norio Taniguchi, cientista da Universidade de Tóquio, no ano de 1974. Richard Feynman, um físico norte-americano, abordou essa temática, pela primeira vez, em uma palestra, no ano de 1959. Acrescento ainda o ano de 1989, quando Donald Egler escreve o nome IBM com átomos de xenônio individuais, e Sumio Iijima, no Japão, descobre os nanotubos de carbono. No ano 2000, deu-se a criação do *National Nanotechnology Initiative*, no *California Institute of Technology*, Estados Unidos. Essenciais para o avanço dessa ciência foi a construção de uma rede de transistores usando nanotubos, obra da empresa IBM, em 2001, e o desenvolvimento da plataforma baseada em nanopartículas para a detecção de doenças contagiosas pelo químico Ched Murkin, da *Northwestern University*, em 2002.

No Brasil, em outubro de 2004, aconteceu o 1º Seminário Internacional de *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*. Em julho de 2005, também em São Paulo, realizou-se o *Congresso Internacional de Nanotecnologia (Nanotec 2005)*, quando se criou o Centro Nacional de Nanometrologia, ligado ao Inmetro e ao Ministério de Ciência e Tecnologia, mas formado por membros de vários outros Ministérios. O orçamento do Ministério de Ciência e Tecnologia gira em torno de 80 milhões para os anos 2005-2006. É pouco, mas significativo para o nosso país.

O interesse brasileiro se evidencia através da criação e expansão dos centros de tecnologia avançados, instalados nos pátios das grandes universidades. O programa inicial, criado em 2001, é composto por quatro redes que incorporam o Programa Brasileiro de Nanotecnologia, criado pelo CNPq. Duas ficam localizadas no Recife (NanoSemiMat e Renami) e as outras duas em Campinas (Nanobiotecnologia e Nanomat). Além disso, temos ainda o Instituto do Milênio de Nanociências, localizado em Belo Horizonte. Até hoje mais de 20 novas redes foram criadas.

Na Universidade de Brasília, foi criada a primeira disciplina de nanobiotecnologia e um centro específico nessa área. Essa universidade é a que mais publica trabalhos acadêmicos sobre o tema, tendo já registradas quatro patentes nacionais. Existem outros 97 pedidos de patentes de produtos desenvolvidos por outras instituições e empresas nacionais.

Nesse caso, a nanotecnologia tem a ver com átomos e medidas ínfimas. Um “nano” equivale a 1 metro dividido por 1 bilhão, o que significa dizer que um fio de cabelo equivale a 30 mil nanos, que uma pulga tem 1 milhão de nanômetros ou que a esfera da ponta de uma caneta comum poderia conter algo em torno de 60 mil bilhões de partículas de 10 nanômetros cada uma. Na nanotecnologia se trabalha átomo com átomo, construindo novos elementos.

Nessa escala, os átomos apresentam uma tolerância à condutividade elétrica, à temperatura, cores e relatividade químicas.

ca. Seria possível, nesse caso, pelas leis da natureza, criar novos materiais não existentes no universo? O domínio dessa tecnologia permite afirmar que sim, da mesma forma como os nossos aparelhos de CDs nos fazem ouvir músicas através dos lasers criados pelo homem e ausentes na natureza.

O que se compreende por nanotecnologia?

Trata-se de engenharia molecular, manipulação atômica e molecular de modo a se criarem aparelhos com precisão atômica. Um nanômetro (nm) significa uma divisão pequena do comprimento de um metro. Para obter um nanômetro, dividimos o metro por 1.000.000.000 (um bilhão ou dez a nona) vezes. Um nm é mil vezes menor que um micron. E um nanômetro é o tamanho da distância entre os átomos de um sólido ou de uma molécula. A título de comparação, os átomos são cerca de 1/10.000 do tamanho de uma bactéria, e bactérias são 1/10.000 do tamanho dos mosquitos².

Com a nanotecnologia entramos na era da miniaturização. Fala-se em substituir as mochilas dos soldados americanos, atualmente com 60kg, por outras de 20kg, substituir uma parte do corpo humano por nano-robôs que realizam a atividade do órgão ou tecido, carros que não usam limpador de pára-brisa, com o vidro elaborado com um composto nanotecnológico que impede a aderência da água.

A convergência de tecnologias na área da física, da química, da biologia, da biotecnologia e da informática reforça a interdisciplinaridade do conhecimento, ou seja, a nanotecnologia aprofunda a necessidade de trabalharmos o conhecimento em re-

² Do site <http://www.geocities.com/luizvillanova/nanotecnologia.htm>

de e novos especialistas, os quais deverão ter presente essa dimensão.

Aplicações da nanotecnologia

A expectativa é que surjam novos produtos no setor eletrônico e eletroóptico, baseado em filmes finos, arquiteturas moleculares e nanoestruturas capazes de armazenar e processar informações. A empresa Califórnia Molecular Technology (Calmec) anunciou a produção de dispositivos moleculares de memória, com dimensão de um dado de 1 cm³, com capacidade armazenar 1.8 terabytes, o que equivale a 30 discos rígidos de 60 gigabytes cada³.

Na novela global “América”, veiculada pela TV Globo, em 2005, a personagem “Sol” participou de uma pesquisa na qual foi submetida à implantação de um “chip” sob a pele que permitia a sua localização e monitoramento. O microchip era do tamanho de um grão de arroz. Um chip pode ser medido em nanômetros. Da mesma forma como empresas rastreiam caminhões, via satélite, assim se podem monitorar pessoas. Essa tecnologia facilita a localização de filhos e de animais domésticos, a localização de pessoas desaparecidas e nos seqüestros⁴. O FDA, agência que regula o uso de medicamentos e alimentos, nos EUA, liberou, em princípio de outubro de 2004, a implantação

³ Do site <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano07.htm>

⁴ SOUZA, Fátima. *São Paulo registra 11 vezes mais seqüestros que o Rio*, Diário de S. Paulo, Versão on line, 01/02/2005: “O microchip cutâneo, importado dos EUA, já está sob a pele de 40 empresários brasileiros – 25 deles de São Paulo – que se consideram alvo potencial de seqüestros. Ricardo Chilelli, da RCI First Security, que importa microchips, disse que há 2 mil clientes na fila de espera para instalar o produto. Com o microchip, em caso de seqüestro, a polícia pode localizar o cativo”.

desses microchips em pacientes. O médico passa o leitor sobre o chip e tem acesso a todo histórico médico do paciente. O chip pode salvar vidas, pois armazena informações relativas ao tipo sanguíneo, alergias e outras doenças crônicas, além de fornecer o histórico de medicamentos do paciente.

Como essas idéias, outras também se tornam realidade. Pensemos, por exemplo, no nano-revestimento de superfícies de vidros. Pode-se fazer uma cobertura transparente, evitando o embaciamento das janelas da casa, do carro, do banheiro, de óculos e lentes, evitando também o risco de quebrarem com tanta facilidade. Aos pneus de carros são incorporadas partículas denominadas “negro-de-fumo”, o que os torna mais consistentes, sem esquecer o *air-bag*, elaborado com nanodispositivos, e os filtros solares, elaborados com nanopartículas, para que se tornem menos densos e pastosos. Recentemente, um grupo de cientistas brasileiros criou nanopartículas brancas, que deverão substituir, gradativamente, os pigmentos brancos, feitos com dióxido de titânio, utilizados para fabricação de tintas, eliminando assim problemas toxicológicos.

Pensemos nas células humanas. A criação de bionanotubos inteligentes ou nanocápsulas, que carregam remédios, possibilitará levá-los ao interior das células doentes para tratar somente essas células, evitando o aparecimento de tumores secundários. As porções de remédios serão ínfimas e mais eficazes, atingindo pontos específicos do organismo. Esses remédios podem ter agregados materiais magnéticos e, guiados por nanoímãs, chegar ao local específico do organismo. Poderemos criar microscópios para serem introduzidos no corpo com a finalidade de desbloquear ou reparar artérias cardíacas. Outra interessante área de aplicação é a fabricação de folhas transparentes de nanotubos de carbono, utilizáveis em músculos artificiais e fontes de luz.

No Brasil, a nanotecnologia ainda está começando. Mas, já há resultados importantes. Por exemplo, um grupo de pesquisadores da Embrapa, liderados pelo Dr. L. H. Mattoso, desenvolveu uma língua eletrônica, um dispositivo que combina sensores químicos de espessura nanométrica, com um sofisticado programa de computador para detectar sabores. A língua eletrônica da Embrapa, que ganhou prêmios e está patenteada, é mais sensível do que a própria língua humana⁵.

Quanto às fontes energéticas, é possível prever a substituição dos carros e motores a gasolina por um combustível à base de hidrogênio e de células de combustível portáteis. Podem também criar-se “nanopelículas” capazes de captar a energia solar, substituindo as atuais células fotovoltaicas, de eficácia bem menor.

Na área da nanotecnologia molecular, assim como as estruturas formadas por blocos de montagem, a nanotecnologia permitirá criar estruturas na área da eletrônica molecular, sensores, emissores e, até mesmo, dispositivos para a fotoconversão de energia, o que seria mais uma alternativa diante de um problema que se agrava.

No campo da ecologia, as nanopartículas permitem remover poluentes de águas e produtos químicos que se perdem no ambiente. Poderíamos limpar afluentes e rios, remover metais, óleo e tantos outros produtos poluentes, através de nanocatalisadores. Poder-se-á estabelecer com mais precisão a qualidade dos alimentos, através de biossensores que detectam bactérias ou toxinas.

⁵ SILVA, Cylon Gonçalves da. *O que é nanotecnologia?*. Do Site: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano10.htm>

Na área militar, a nanotecnologia tem uma aplicação enorme. Fala-se da criação de mini-robôs voadores, não detectáveis pelos radares atuais, uma espécie de micro-aviões, do tamanho de abelhas, capazes de invadir o espaço aéreo, fotografar e localizar alvos inimigos. Além disso, imagina-se a criação de uniformes de guerra resistentes a armas químicas e o desenvolvimento de nanoaparelhos destinados a identificar e a neutralizar microorganismos letais, a criação de “roupas inteligentes” para os soldados, com fluidos que se solidificam nas perfurações por projéteis ou que engessam pernas e braços ou equipadas com sensores de cores capazes de camuflar o combatente, dependendo do ambiente onde ele se encontra. Outra técnica que está sendo testada é a criação de mapas geográficos flexíveis de alta definição, capazes de reproduzir imagens do campo de batalha e enviadas, via satélite. Assim será possível enxergar todos os movimentos do inimigo, através de telas de TVs coloridas dobráveis, tão finas quanto o papel.

Na área da segurança nacional, observa Paulo Martins,

a meta da segurança nacional é a convergência das tecnologias, nano, bio, info e cogno. Alguns dos produtos que materializam essas convergências são: sensores em miniatura, processamento em alta velocidade, comunicação em larga escala, veículos de combate sem combatente, treinamento em realidade virtual, aumento da *performance* humana e interface cérebro/máquina⁶.

Não se pode deixar de imaginar que a nanobiotecnologia, aplicada à área da vida, poderia ajudar a reverter doenças, como

⁶ MARTINS, Paulo Roberto (coord.). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente*. São Paulo: Associação Editorial Humanitas, 2005. p. 262.

o Mal de Parkinson ou o diabetes, criando nanodispositivos capazes de reparar neurônios ou fazer crescer ilhas pancreáticas⁷.

As aplicações da nanotecnologia, na área militar, comercial e de informática, permitem imaginar uma nova “corrida do ouro”, da mesma forma como acompanhamos o interesse no patenteamento de todas as descobertas mais recentes.

O que não se deve omitir

Um novo paradigma emerge da fusão das Nanos e das biotecnologias com as tecnologias de informação. A questão que deixo para todos nós é: estamos preparados?⁸

A nanotecnologia não é neutra cientificamente. Ela trará enormes benefícios, mas também enormes riscos. Ao contrário da avaliação feita por alguns otimistas, o aumento dos benefícios não ameniza e nem minimiza os riscos e, como consequência, não legitima a nova tecnologia.

O perigo real da nanotecnologia reside no fato de, “ao se reduzir o material a partículas muito pequenas, acabar-se mudando as propriedades físicas e químicas do material”⁹. Significa dizer que, numa escala nanométrica, podem alterar-se as caracte-

⁷ COLAVATTI, Fernanda. Esperança em escala nanométrica. *Revista Galileu*, outubro 2005, n. 171 (2005) 16: “Uma pesquisa da Universidade da Califórnia apresentou um dispositivo que poderá ser utilizado no tratamento de doentes renais, reproduzindo o funcionamento de um rim normal... O dispositivo deverá ser implantado nos pacientes e trabalhará durante 12 horas por dia, todos os dias, auto-regulando-se de acordo com as necessidades do corpo. Segundo os pesquisadores, o artefato pode até mesmo aposentar as máquinas de hemodiálise”.

⁸ DALCOMUNI, Sônia Maria. *Nanotecnologia, inovação e Economia*. Apud MARTINS, Paulo Roberto (coord.), p. 96.

⁹ HETT, Annabelle. *Nanotecnologia, inovação e Economia*. Apud MARTINS, Paulo Roberto (coord.), p. 111-112.

rísticas de um material, variando desde a cor à capacidade de conduzir eletricidade. Ao reduzir o tamanho das partículas, aumenta-se a sua superfície, ou, quanto menor for a partícula, maior a área de superfície. Dito em palavras mais simples ainda: a explosão atômica é infinitamente superior à explosão de um quilo de pólvora.

As substâncias químicas na forma de nanopartículas devem ser tratadas como novas substâncias. Isso é o que os órgãos regulamentadores na Europa estão dizendo. Basicamente, o ponto é o seguinte: dióxido de titânio é uma partícula microscópica diferente de uma nanopartícula de dióxido de titânio. Elas possuem propriedades químicas diversas, por isso a nanopartícula deve ser considerada uma nova substância química¹⁰.

Os avanços científicos trouxeram novos riscos, o que exige a atenção e monitoramento humano desses riscos. Se calculássemos todos esses riscos e os somássemos, poderíamos dizer que convivemos com uma bomba atômica pronta para explodir. Tal risco vale a pena?

A vida humana está cercada de novas ameaças, como os carros, a energia elétrica e aviões. Esses riscos precisam ser incorporados à vida humana. É preciso educação para saber como evitá-los. Um número grande de pessoas são vítimas de acidentes automobilísticos, aéreos ou elétricos. Quanto maior o risco, mais vulnerável é a vida. Estamos dispostos a incorporar mais esse risco em nossa já saturada vida arriscada? Temos mecanismos de controle de todas as tecnologias? Conhecemos muito pouco sobre os produtos sintéticos e a possibilidade de aumentá-los, atra-

¹⁰ RYAN, John. *Nanotecnologia, ciência e tecnologia e regulação de novas tecnologias*. Apud MARTINS, Paulo Roberto (coord.), p. 55.

vés da nanotecnologia. Os problemas ecológicos exigem um cuidado e uma avaliação criteriosa.

Não se trata de instaurar um temor desmedido, mas de ser previdente. O reconhecimento dos riscos reais e a adoção de medidas eficazes favorecem o investimento monetário e o próprio avanço científico. Não se podem omitir riscos ou enganar investidores e o grande público. Hoje vivemos a cultura do seguro, e o consumidor está atento a isso.

Os produtos não são o centro das preocupações. Maior preocupação surge com a forma de produção dos mesmos, feita através da “tecnologia genética”, ou seja, a capacidade de proliferação exponencial do próprio sistema de manufatura.

Quem serão os grandes beneficiários da nanotecnologia? O maior número de patentes de produtos solicitadas nessa área é de cosméticos, o que leva a concluir que o interesse maior é comercial e em produtos de consumo. Nesse caso, os riscos da nanotecnologia impõem a obrigação moral de instaurar um diálogo social para que todos possam avaliar riscos e conhecer os benefícios. “Serão exigidos acordos sobre princípios éticos sobre a dignidade humana, autonomia, a obrigação de não ferir e fazer o bem, particularmente nas áreas da saúde e segurança no trabalho, privacidade e preservação do meio ambiente”¹¹.

Custos e pagamentos

Estimativas variadas sobre os gastos futuros do nanomercado oscilam de US\$ 700 bilhões, em 2008, e mais de um trilhão, em 2015¹².

A nanotecnologia vem despertando o interesse de governos, grandes e pequenas empresas do ramo da alta tecnologia, a-

¹¹ RATTNER, Henrique. *Nanotecnologia – para melhor ou para pior? Apud MARTINS, Paulo Roberto (coord.), p. 173.*

¹² *Ibidem*, p. 176.

lém de universidades. As conferências de 2001, do *Foresight Institute*, e de 2002, a Conferência *Integrated Nanosystems*, são exemplos da expansão desse setor e a lenta e gradual interação de setores públicos, privados e das universidades.

No ano de 2005, o governo norte-americano aplicou US\$ 604 milhões nessa área. O setor privado desse país aplicou bem mais do que isso, em 2004, chegando a algo equivalente a US\$ 75 bilhões. Além das somas investidas, os interesses também são diferentes. Enquanto o setor privado investe em tecnologias de componentes eletrônicos, o governo está mais interessado em áreas militares e de segurança. As empresas como a 3M, DuPont, General Electric, Johnson & Johnson, HP, IBM e Intel, são exemplos de “nanoempreendedores” e estão na vanguarda tecnológica.

A nanotecnologia ocasionará um novo crescimento econômico, o que exige uma rápida adequação dos países, indústrias e, de quebra, de pessoas preparadas. A exemplo da Universidade de Brasília (UnB), também a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) desenvolve pesquisas nessa área.

A US National Science Foundation estima que, dentro de dez anos, todo o setor de semicondutores e a metade do setor farmacêutico dependerão da nanotecnologia e que, até 2015, o mercado global envolvido por ela será de um trilhão de dólares¹³.

O Brasil precisa investir nessa tecnologia. Mas, de onde obter recursos? Cortar investimentos em outros setores? Estaríamos aumentando ainda mais a já difícil realidade de milhares de brasileiros, redirecionando verbas de outras áreas, igualmente importantes.

¹³ Do Site: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano04.htm>

Os países emergentes se vêem excluídos do processo de desenvolvimento e de incorporação global, tanto pela falta de recursos, quanto da preparação de profissionais. O progresso científico e a inovação tecnológica aumentam o abismo entre os países desenvolvidos e emergentes. O mesmo se sente no interior de países desenvolvidos, onde parte da população fica à margem do desenvolvimento¹⁴.

Os países desenvolvidos, para não perder mercado, abrem mão de princípios e valores que, historicamente, sempre defenderam. A utilização de embriões humanos para a produção de células-tronco é exemplo disso: o interesse econômico falou mais alto.

O desenvolvimento sustentável

Hipóteses levantadas sobre as características inéditas da nanotecnologia, e que exigiriam medidas de controle e de responsabilidade redobradas, apontam para a *invisibilidade* e suas implicações para atividades secretas e bélicas; a *microlocomoção* e suas potencialidades para invadir ou superar barreiras, muros e outros obstáculos, inclusive a pele humana; e a *auto-replicação* – o aspecto mais problemático e perigoso, que evoca o espectro do ‘aprendiz feitiçeiro’. Essas três características colocam em evidência os desafios de monitoramento, apropriação e propriedade e o controle social da tecnologia¹⁵.

Segundo vários expertos, a fonte do desenvolvimento se baseia no processo invenção-inovação-difusão, ou seja, cada no-

¹⁴ Cf. TEGART, Greg. O surpreendente mundo da nanotecnologia. *Management*, Número 51, Ano 9, Volume 4, p. 87.

¹⁵ *Ibidem*, p. 176-177.

va invenção desencadeia a criação de novos produtos de consumo. A saturação dos produtos do mercado obriga a inovação industrial e tecnológica à criação de outros produtos, reproduzindo um novo ciclo.

Essa cadeia se revela sempre mais curta e é diretamente responsável pela crise ambiental. A produção desenfreada e maciça acaba com as reservas naturais e satura o ambiente com produtos obsoletos.

O desenvolvimento sustentável é um dos temas de discussão ao se tratar de nanotecnologia. Ela vai transformar o atual processo de produção e a economia. Não sabemos a extensão dessa mudança e os efeitos reais, mas não podemos ser ingênuos. Considero que os efeitos não serão tão ameaçadores para o meio ambiente e para a vida humana como foram os causados pelo desenvolvimento industrial.

Oscar Loureiro Malta afirma tratar-se de uma “tecnologia ambientalmente limpa”¹⁶, ou seja, que não agride o meio ambiente. Como qualquer outra ciência, a nanotecnologia apresenta riscos ao meio ambiente, e muitos insistem na necessidade de discutir este ponto.

Considero que não se deve criar alarde. O risco de a tecnologia vir a cair em mãos de criminosos e terroristas, a implantação do mercado clandestino da nanotecnologia, a concorrência entre países, a criação de produtos baratos e perigosos, também foram cogitados nas outras invenções. O mercado pode ser regulado por acordos internacionais e uma legislação adequada.

Vários pesquisadores alertam para o risco de nanopartículas penetrarem em células vivas e na cadeia alimentar ou se espalharem pelo ar. Quanto aos protetores solares, por exemplo, exis-

¹⁶ MALTA, Oscar Loureiro. *O Programa Brasileiro de Redes Temáticas em Nanociência e Nanotecnologia e o Desenvolvimento Sustentável*. JC e-mail 2596, de 30 de agosto de 2004, Site: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=21132>.

te a possibilidade de as nanopartículas usadas na sua composição penetrarem na pele e nas células do organismo. Se elas penetram em células cancerígenas, podem fazer o mesmo nas células de sangue. O fato é que, mesmo que alguns institutos afirmem tratar-se de uma tecnologia segura, ninguém ainda fez os testes necessários para garantir essa segurança. O exemplo do amianto é sugestivo: seus malefícios somente foram reconhecidos depois da morte de inúmeras pessoas. Será que os nanotubos ou os filtros solares não poderão provocar o mesmo efeito?

A garantia de segurança humana e a não-ameaça ao ambiente é condição ética implícita em cada nova tecnologia. É obrigação da comunidade científica em garantir a certificação dos produtos. Alertar sobre os riscos reforça a confiança dos consumidores nos produtos e na ciência. A responsabilidade é dos cientistas e dos governos. As informações não podem ser escondidas e nem falsificadas¹⁷.

Como se pode imaginar, as empresas envolvidas nas pesquisas e expansão não estão tão interessadas em prevenir os riscos que as mesmas comportam. Nesse caso, vale o famoso e atual *princípio de precaução*, tomando os cuidados necessários e fazendo pesquisas, antes da aplicação prática em larga escala.

Paulo Martins afirma ser necessário “repensar as bases legais e as estruturas normativas da sociedade”¹⁸, a partir de três aspectos: 1. o monitoramento das nanopartículas, devido à invisibilidade, locomoção e auto-replicação; 2. a propriedade do material, a extensão dessa propriedade; 3. o controle sobre os materiais.

É preciso dar um voto de confiança aos cientistas e à seriedade de seu trabalho, afinal, eles e seus filhos habitam o mesmo

¹⁷ Cf. HETT, Annabelle. *Nanotecnologia, inovação e Economia*. Apud MARTINS, Paulo Roberto (coord.), p. 116.

¹⁸ MARTINS, Paulo Roberto (coord.), *op. cit.*, p. 260.

mundo, e os efeitos negativos da tecnologia afetam a todos. Devemos reconhecer que a própria tecnologia melhora a tecnologia.

He descrito cómo los avances en la programación conducirán a la ingeniería automatizada y a la inteligencia artificial. Juntos, estos avances propiciarán un futuro rico en posibilidades, una de las cuales es nuestra propia destrucción¹⁹.

Não podemos renunciar ao progresso e ao avanço tecnológico, baseados em temores que, na maioria das vezes, não se confirmam. Barrar o crescimento tecnológico é esforço inútil. Deve-se crer na capacidade que a humanidade tem de coordenar e ordenar os avanços tecnológicos. Os recentes trabalhos de comitês éticos internacionais e nacionais são prova disso. Urge conscientizar a humanidade da necessidade de ter em mãos a decisão de seu próprio futuro e de participar na construção do mesmo, sem renunciar aos valores éticos e ao crescimento humano e social.

Importa também olhar o futuro com uma visão mais ampla, renunciando a uma visão parcial, na qual somente se vislumbram os aspectos negativos. Não se pode exigir desenvolvimento tecnológico e o deleite das facilidades que este proporciona, sem assumir também os riscos e a precaução quanto aos seus efeitos negativos. A proporcionalidade entre avanços e riscos deve ser seriamente avaliada. As vantagens e os perigos devem ser avaliados conjuntamente. Os riscos previsíveis devem receber atenção particular e ser devidamente monitorados.

A nanotecnologia tem sido preconizada como capaz de refazer a sociedade, a natureza e a humanidade. Importa não deixar que tal idéia impeça a avaliação neutra da nanotecnologia. As

¹⁹ DREXLER, K. E. *La nanotecnología. El surgimiento de las máquinas de creación*. Barcelona: Gedisa Editorial, 1993, p. 302.

políticas econômicas moldam interesses em vista da implantação de uma visão positiva da mesma. Em nome da inovação científica e por meio de um *marketing* pautado pelos avanços sociais, pelos benefícios médicos, pelo preenchimento de necessidades físicas e sociais, produzidas à base da propagação de novos desejos e não nas reais necessidades humanas, os tecnólogos esperam conseguir a aprovação “democrática” da sociedade, expandindo dessa forma seus interesses econômicos. Esta não é uma forma responsável de agir, o que nos leva a concordar com a afirmação de Kenneth Gould:

A desigualdade, a desorganização ecológica e a pobreza são problemas político-econômicos que não podem e não serão resolvidos pela ciência e pela tecnologia. Dada a base socioestrutural do controle da ciência e da tecnologia, é muito mais realístico esperar que cada rodada de inovação tecnológica sirva aos interesses daqueles que controlam o processo, e que resultem em mais desigualdades, maior desorganização ecológica e maior pobreza²⁰.

Implicações éticas

As questões éticas ligadas à nanotecnologia dizem respeito às questões que se repetem no tocante ao desenvolvimento tecnológico em geral e a seus reais efeitos sobre a humanidade e o ecossistema. A questão ética se resume nisto: o homem não pode, imprudentemente, colocar em risco sua vida e o ecossistema.

²⁰ GOULD, K. *Nanotecnologia, inovação e meio ambiente*. Apud MARTINS, Paulo Roberto, *op. cit.*, p. 249.

Os benefícios da nanotecnologia devem estender-se a todos e não ficar restritos a uma minoria que pode pagar para utilizá-la. Toda inovação tecnológica somente consegue ser revolucionária, se atinge toda a sociedade e não somente alguns setores isolados.

A participação social se faz sentir devido à necessidade da avaliação dos riscos e do controle das incertezas. Mas, não pode ficar somente nisso. É necessário avaliar o impacto mais amplo que a nanotecnologia terá sobre a sociedade. Particularmente preocupante é a necessária medição biomédica e de engenharia genética, que vai muito além do controle sanitário. O risco de exposição aos novos produtos não se restringe somente ao paciente, mas a todos, uma vez que os nanoprodutos espalham partículas em todo o meio ambiente.

Toda inovação tecnológica somente é meio e não fim. É necessário que as informações sejam claras e respondam às interrogações que a sociedade apresenta. É preciso amenizar a tensão dialética entre os interesses científicos e econômicos despertados por cada nova tecnologia e os interesses sociais.

Conforme o parecer de Marcelo Knobel, físico e coordenador do Núcleo de Desenvolvimento da Criatividade (Nudrecri) da Unicamp, a nanotecnologia faz parte de um “círculo virtuoso”. Na visão de Kenneth Gould, através das promessas anunciadas, somente “aumentam-se os lucros e as ameaças ambientais e reduz-se a geração de benefícios sociais, como o emprego e os salários, assegurando aumentos constantes nas desigualdades sociais e ambientais”²¹.

²¹ GOULD, K. *Nanotecnologia, inovação e meio ambiente*. Apud MARTINS, Paulo Roberto (coord.), p. 245: “Em adição aos benefícios utópicos geralmente alardeados pelo tecnólogos, a Nanotecnologia ou os promotores dela enfatizam uma grande e ampla gama de benefícios ecológicos advindos dessa nova tecnologia, capitalizando a preocupação pública com o estado de deteriorização da biosfera mundial” (cf. RATTNER, Henrique. *Nanotecnologia Para melhor ou para pior?*, Site: <http://www.espacoacademico.com.br/041/41rattner.htm>).

Carlos Vogt, um dos vice-presidentes da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), afirma que, “como o fundamento da moral é a utilidade, é possível afirmar que a utilidade do conhecimento é o que o torna ético, por definição”²². Embora concorde quanto à importância e necessidade do avanço científico, este não se torna ético, simplesmente porque é útil. A utilidade não torna eticamente lícita uma ação. O utilitarismo da ciência não legitima todas as ações. A utilização pode estar contaminada pela perspectiva imediatista.

No livro de Mark Ratner e Daniel Ratner, *Nanotecnologia: a Gentle Introduction to the next big Idea*, os autores se referem ao problema das patentes, ligadas aos produtos biotecnológicos e farmacêuticos. Já acenei para os avanços importantes nessas áreas e a necessária utilização da nanotecnologia para a cura de muitas doenças graves, mas o que impulsiona pesquisadores e empresas não é somente o puro altruísmo ou amor à causa, mas, sobretudo, o retorno econômico. Como acenam os autores citados, o interesse pela saúde pública nem sempre é o fim mais importante. O ganho de capital move as mentes e corações.

A intuição de João Paulo II

O desenvolvimento tecnológico não é sinônimo de desenvolvimento humano. Antes, o avanço tecnológico pode representar um atraso ou degradação da qualidade de vida humana. Basta observar os danos causados ao meio ambiente e o seu efeito sobre a vida humana, assim como observar as desigualdades sociais e econômicas espalhadas pelo planeta Terra. A nanotec-

²² VOGT, Carlos. *Editorial*, Ciência e Cultura. *Revista da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*, Número 1, Ano 57, janeiro/fevereiro/março de 2005, p. 3.

nologia é considerada como uma forma de eliminar os problemas ecológicos, pois possibilita criar uma série de materiais para purificar a água e o ar.

O Papa João Paulo II, na Encíclica *Laborem Exercens*, não somente resgata o valor do trabalho humano, mas a primazia da pessoa humana enquanto “sujeito do trabalho”. Foi ele quem ensinou: “É preciso acentuar e pôr em relevo o primado do homem no processo de produção, o primado do homem em relação às coisas”²³.

Na Encíclica *Sollicitudo rei socialis*, ensinou a importância e necessidade da solidariedade entre as nações, como um dos valores básicos da concepção cristã da organização social e política e da possibilidade de convivência humana sobre o planeta Terra. O desenvolvimento humano autêntico somente pode dar-se através da solidariedade e da liberdade. A interdependência dos povos não permite que uns percorram a estrada do desenvolvimento tecnológico, sem permitir e fomentar o mesmo para as demais nações.

Hoje o que se quer é o domínio do mercado ou, ao menos, não aumentar o *gap* (fosso) tecnológico entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos. Os próprios países desenvolvidos convivem com esse problema. Obrigam-se a abrir mão de práticas e posições históricas em vista do “manter-se no mercado”. E, na maioria das vezes, os valores primordiais da pessoa humana são colocados em segundo plano. Não é por nada que vivemos uma época de elaboração e aplicação de códigos éticos para embriões, crianças e adolescentes, idosos, pacientes e consumidores, exatamente porque os valores humanos e o respeito à dignidade humana estão ameaçados. Quando a consciência não reconhece esses valores, é preciso garanti-los através da legislação.

²³ JOÃO PAULO II. *Carta Encíclica Laborem Exercens*. São Paulo: Ed. Loyola, 1981, n. 12.

Faz-se necessário encontrar formas que proporcionem o avanço tecnológico para todos, a fim de estagnar o aumento do quadro de subdesenvolvimento. O equilíbrio tecnológico entre as nações é caminho para a paz. Os problemas ecológicos e suas conseqüências afetam todo o planeta. O desequilíbrio tecnológico provoca efeitos tão devastadores quanto os desequilíbrios naturais. Se nos solidarizamos com as catástrofes ecológicas, o mesmo deve dar-se com a desigualdade tecnológica. Precisamos solidarizar a tecnologia.

O Papa percebeu que o avanço tecnológico estava suplantando valores humanos e a própria pessoa humana. Servia como desculpa para camuflar prioridades, tais como a produção e lucro. Em vez de ser uma contribuição, a tecnologia tornava-se substituta da pessoa humana. Enquanto a tecnologia avançava, a pessoa humana era superada. Em vez de a tecnologia se tornar obsoleta, era a pessoa humana que já não servia mais ao modelo industrial e aos interesses do mercado.

No universo ou na casca de noz?

Mas quero mostrar dentro dela um novo abismo. Quero pintar-lhe não apenas o universo visível, como também o infinito concebível da natureza nessa parcela de átomos. Há aí uma infinidade de universos, cada um com seu firmamento, seus planetas, sua Terra, em medidas semelhantes às do mundo visível; e, nessa Terra, há animais e, neles, essas lêmneas em que tornará a achar o que nas primeiras observou. Encontrará, desse modo, por toda parte, de modo incessante e infindável, a mesma coisa e perder-se-á nessas maravilhas tão espan-

tosas em sua pequenez quanto em magnitude²⁴.

Há dois desafios atuais: a conquista de novos planetas e galáxias e a miniaturização em escala nanométrica. Em julho de 2005, os cientistas afirmaram a descoberta de um novo planeta, talvez o décimo de nosso sistema solar. Até hoje já foram descobertos cerca de 125 planetas fora do sistema solar. No mesmo período, a NASA bombardeou o planeta Vênus para colher partículas de análise e, em setembro de 2005, registrou-se a explosão de uma estrela, o que poderia reconstruir a forma como a vida se originou no planeta Terra, uma espécie de Big Bang inicial.

O homem é capaz de ir muito além de si mesmo, conquistar novos mundos e criar novas tecnologias. Mas, como observa Pascal, encontra novos abismos e, se não se perde na imensidão, no macrocosmos, ou na miniaturização, no microcosmos, corre o risco de perder-se na maravilha do que encontra.

Isso possibilita um melhor conhecimento de si mesmo, ou seria apenas mais uma forma de fugir de si mesmo? A dispersão no universo pode ser tão restritiva na tarefa do autoconhecimento quanto de quem somente olha para o seu próprio eu.

A nanotecnologia pode converter-se em mais uma rota de fuga. A tecnologia precisa encontrar espaço na mente humana, na capacidade de auto-reflexão. A imensidão do espaço ou a capacidade de amontoar átomos não explicam quem é a pessoa humana. Somente alargam o espaço ao nosso redor. Mas, para que tanto espaço, se não sabemos o que fazer com ele ou onde nos situarmos nele ou o reservarmos somente para alguns poucos privilegiados? Ou, para que “miniaturizar” tudo, se não conseguimos decifrar melhor a nós mesmos? A nanotecnologia é, por-

²⁴ PASCAL, Blaise. *Miséria do homem sem Deus*. São Paulo: Nova Cultural, 1999, p. 44.

tanto, um convite a penetrarmos no vasto mundo do que somos e do que são os outros. Um convite a prestarmos atenção às maravilhas que se escondem por trás das coisas e das pessoas. O ser de cada pessoa é muito maior do que as meras aparências do que vemos ou das funções que desempenham. E, infelizmente, vivemos no mundo das aparências, das vitrines, do olhar superficial. Corremos o risco de avaliar as pessoas da mesma forma como avaliamos a inovação tecnológica, dos produtos lançados no mercado, o que podem nos proporcionar em termos de ganho econômico ou crescimento individual.

Quem raciocinar dessa maneira há de apavorar-se de si mesmo e, imaginando-se apoiado na massa que a natureza lhe ofertou, entre esses dois abismos do infinito e do nada, tremerá ao ver tantas maravilhas; e acredito que, transformando a curiosidade em admiração, preferirá contemplá-las em silêncio a investigá-las com presunção²⁵.

O movimento que nos impulsiona para fora de nós é importante e necessário. Somos verdadeiros “nanomundos”. Cada ser humano é um mundo à parte, em si mesmo, na complexidade de sua realidade. A intersubjetividade é tarefa e desafio. A capacidade técnica de construir e desconstruir materiais não pode suplantiar a tarefa de interação com os diversos mundos pessoais. Assim como acontece com os materiais, os “nanomundos” somente poderão ser conhecidos, na medida em que forem “descobertos”, na medida em que os revestimentos forem suplantados. Cada eu interior esconde, e ao mesmo tempo, revela uma riqueza e imensidão profundas. Assim como as nanopartículas ocupam e se fundem no ambiente, assim deve ser também a sociedade hu-

²⁵ *Ibidem*, p. 44.

mana, consciente da importância, riqueza e maravilha de cada pessoa humana e de cada elemento da criação.

O que é o homem dentro da natureza, afinal? Nada em relação ao infinito, tudo em relação ao nada; um ponto intermediário entre tudo e nada. Infinitamente incapaz de compreender os extremos; tanto o fim das coisas como seu princípio mantêm-se ocultos num segredo impenetrável, e é-lhe igualmente impossível ver o nada de onde saiu e o infinito que o envolve²⁶.

Um dos projetos audaciosos de G. W. Bush, atual presidente norte-americano, é criar um escudo protetor que impedirá ataques terroristas ou o bombardeamento do território dos EUA. Embora o projeto ainda esteja em estudo, sua realização somente será possível a partir do desenvolvimento da nanotecnologia. Nesse caso, o território geográfico estará protegido com uma barreira invisível, mas altamente eficaz. E, por ironia do destino, são os mesmos norte-americanos que mais investem na conquista do espaço interplanetário. Enquanto gastam milhões no desenvolvimento de novas tecnologias de proteção contra o terrorismo, como demonstração da incapacidade de diálogo, tolerância e solidariedade com as demais culturas, investem somas ainda maiores na esperança de demonstrar a existência de vida fora de nosso planeta. Mas, de que adiantam novos mundos e novas vidas, se não sabemos conviver com os que historicamente nos rodeiam?

Não há dúvida de que há maior possibilidade de enriquecimento humano, quando se convive com muitas pessoas. Mas, há muitas pessoas humanamente pobres no meio da multidão, e muitos eremitas que são exemplos e dão lição de humanidade. O que importa é não se fechar na casca de noz e nem sequer viver

²⁶ *Ibidem*, p. 44-45.

na distração e exterioridade contínua. Descobrir a riqueza interior e projetá-la para o enriquecimento social é tarefa pessoal.

“... E vós sereis como deuses...!” (Gn 3, 5)

Por mais que alarguemos nossas concepções e que as projetemos para além dos espaços imagináveis, concebemos apenas átomos em comparação com a realidade das coisas. Esta é uma esfera infinita cujo centro se acha em toda parte e cuja circunferência não se acha em nenhuma. E o fato de nossa imaginação perder-se nesse pensamento constitui, em suma, a maior característica sensível da onipotência de Deus²⁷.

A nanotecnologia confirma e reafirma o velho desejo humano de autocontrole, superação e submissão de tudo o que está ao seu redor. Ela somente confirma a tendência humana de expansão e domínio do universo. Acrescente-se a isso o que também já sabemos, ou seja, o homem quer programar, controlar, criar e fabricar a realidade. Nesse caso, não somos diferentes dos antepassados, mas simplesmente reescrevemos a mesma história, assim como as próximas gerações o farão, porém, já dentro de uma outra realidade.

Seremos definidos como a geração nanotecnológica e, no entanto, a única coisa que buscamos é o desejo de superar nossos limites e nossas fronteiras. Que isso seja feito através do “comer do fruto”, da “torre de babel”, da sonda planetária ou da nanotecnologia. Através de todas essas formas, o homem se depara com a sua realidade, nua e crua: é criação, criatura; não criador. E foge de si mesmo e do Criador.

²⁷ *Ibidem*, p. 43.

O mundo predeterminado e que se rege por leis intrínsecas cede seu espaço para o homem que o transforma a partir dos átomos. A realidade natural cede seu espaço para a criação e transformação humanas e, em decorrência disso, a compreensão antropológica e teológica da própria pessoa humana, do cosmos e da vida, deve ser refeita. Aí entra o papel novo da filosofia, da teologia e da ética. O medo de que a técnica acabe com tudo, desnaturalizando a própria vida e artificializando o homem, leva a desafios éticos e a uma nova organização social. Dentro dessa perspectiva é que se compreende o papel fundamental da Bioética, enquanto “ponte” entre a pessoa humana e a ciência.