

NANOTECNOLOGIA: PROGRESSO CIENTÍFICO, MATERIAL, GLOBAL E ÉTICO

NANOTECNOLOGÍA: PROGRESO CIENTÍFICO, MATERIAL, GLOBAL Y ÉTICO

NANOTECHNOLOGY: SCIENTIFIC, MATERIAL, GLOBAL AND ETHIC PROGRESS

Elisangela Giroto Carelli Hermes¹

Paulo Roberto Haidamus de Oliveira Bastos²

RESUMO

Este artigo objetiva esclarecer sobre nanotecnologia, com ênfase em nanomedicina, e seus progressos: científico, material, global e ético, principalmente no Brasil, até maio de 2013. Existe muito debate nas implicações futuras da nanotecnologia, pois os desafios são semelhantes aos de desenvolvimentos de novas tecnologias, incluindo questões sobre a toxicidade e impactos ambientais dos nanomateriais, e os efeitos potenciais na economia global, assim como a especulação sobre cenários futuros. É necessário definir concentrações seguras de exposição aos nanomateriais, estabelecer normas de utilização e instituir regras adequadas para a eliminação dos resíduos associados à atividade nanotecnológica. O Brasil tem avançado nessa área.

PALAVRAS-CHAVE: nanotecnologia, saúde, nanomedicina, ética. (Fonte: DeCS, Bireme).

RESUMEN

El artículo busca aclarar acerca de nanotecnología, con énfasis en nanomedicina y sus progresos: científico, material, global y ético, sobre todo en Brasil, hasta mayo de 2013. Hay mucho debate en las implicaciones futuras de la nanotecnología, pues sus retos son semejantes a los de desarrollos de nuevas tecnologías, que incluyen cuestionamientos acerca de la toxicidad e impactos ambientales de los nanomateriales, además de los efectos potenciales en la economía global, además de la especulación sobre escenarios futuros. Es necesario que se definan concentraciones seguras de exposición a los nanomateriales, establezcan normas de utilización y se instituyan reglas adecuadas para la eliminación de los residuos asociados a la actividad nanotecnológica. Brasil ha avanzado en esta área.

PALABRAS CLAVE: Nanotecnología, ciencias de la salud, nanomedicina, ética. (Fuente: DeCS, Bireme).

DOI: 10.5294/PEBI.2014.18.2.2

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE / PARA CITAR ESTE ARTIGO

Carelli Hermes EG, De Oliveira Bastos PRH. Nanotecnologia: Progreso científico, material, global e ético. pers.bioét. 2014; 18(2). 107-118. DOI: 10.5294/pebi.2014.18.2.2

- 1 Fonoaudióloga, Mestranda em Saúde e Desenvolvimento do Centro-Oeste, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. elisangela.giroto@gmail.com
- 2 Professor, Doutor do Departamento de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. phaidamus43@gmail.com

FECHA DE RECEPCIÓN:	2013-12-07
FECHA DE ENVÍO A PARES:	2014-01-14
FECHA DE APROBACIÓN POR PARES:	2014-04-19
FECHA DE ACEPTACIÓN:	2014-04-21

ABSTRACT

The article seeks to clarify nanotechnology, focusing on nanomedicine and its progress: scientific, material, global and ethics, especially in Brazil, until May 2013. There is much debate on the future implications of nanotechnology, since its challenges are similar to the development of new technologies, including questions about the toxicity and environmental impact of nanomaterials, in addition to the potential effects on the global economy, and speculation about future scenarios. It is necessary to define safe concentrations of exposure to nanomaterials, institute standards for the use and institute appropriate rules for waste disposal activities associated with nanotechnology. Brazil has advanced in this area.

KEYWORDS: Nanotechnology, health sciences, nanomedicine, ethics. (Source: DeCS, BIREME).

INTRODUÇÃO

Levantamentos têm mostrado que as pessoas ainda conhecem muito pouco as nanotecnologias (NT), embora elas já estejam presentes em mais de mil produtos de consumo em todo o mundo, como cosméticos, tecidos e aparelhos eletrônicos (1). As nanotecnologias desafiam o imaginário, pois trabalham com estruturas que têm somente algumas dezenas ou centenas de bilionésimos de metro. Entretanto, as nanotecnologias não são apenas uma redução de escala: materiais em dimensões tão pequenas apresentam propriedades diferenciadas. Por um lado, tais propriedades podem ser exploradas para o desenvolvimento de produtos inovadores e úteis, como medicamentos e tecidos artificiais; por outro, podem causar reações prejudiciais à saúde e ao ambiente, assim como suscitar dilemas éticos e iniquidades sociais. Nasce daí, a necessidade de ampliar o debate sobre o tema.

Produtos tecnológicos armazenam um grande valor de mercado, tornam-se estratégicos nas concorrências comerciais entre empresas e/ou Estados, na medida em que impõem inúmeras condições —científicas, técnicas, legais (patentes) e capacitação de recursos humanos altamente treinados— ao processo de seu saber-fazer. Os fatores que influenciam a inovação tecnológica possuem ordens de grandezas diversas, desde uma escala micro, instituidora de aspirações e comportamentos dos agentes diretamente ligados à inovação, até uma escala macro, estruturadora das condições econômicas e políticas sobre as quais os agentes empreendedores atuam.

Estudo recente publicado na revista *Nature*, intitulado *Manuseio Seguro da Nanotecnologia*, que examinava a toxicidade de nanomateriais sintéticos em culturas celulares e em animais, mostrou que o tamanho, a área

superficial, a química superficial, a solubilidade e possivelmente o formato, todos desempenham um papel no potencial dos nanomateriais em causarem danos. Segundo os pesquisadores, são cinco os grandes desafios que deverão ser vencidos para que a nanotecnologia possa ser totalmente desenvolvida sem apresentar riscos para a população. Esses desafios envolvem o desenvolvimento de: instrumentos para avaliar a exposição ambiental aos nanomateriais; métodos para avaliar a toxicidade dos nanomateriais; modelos para prever o impacto potencial de novos nanomateriais sintetizados; formas de avaliar o impacto dos nanomateriais ao longo de seu ciclo de vida; programas estratégicos para permitir pesquisas sobre os riscos da nanotecnologia.

O relatório sobre riscos e regulação das NT, promovido pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial —ABDI— em 2011, aponta alguns fatos para reflexão: como grande parte dos produtos começou a ser comercializado a partir de 2004 e, com o aumento mesmo que localizado em alguns países da percepção pública da nanotecnologia e da ação das entidades ligadas a consumidores e ONGs, as pressões sobre a questão da segurança passaram a ser mais sentidas levando, assim, a um aumento dos estudos relacionados com a segurança. Outra análise importante refere-se aos cientistas ainda estarem se perguntando, enquanto a indústria já está vendendo. Isso levanta a questão: por que os organismos reguladores parecem tímidos em tomar as medidas necessárias para assegurar que as pessoas e o ambiente sejam protegidos? Pode a regulamentação ser construída de modo que a indústria possa trabalhar, em termos de desenvolvimento e comercialização de novos produtos e processos baseados em nano? É preciso começar a examinar criticamente marcos regulatórios potenciais, novas normas, novas ferramentas, novas nomenclaturas,

NO SETOR DA SAÚDE, A NANOTECNOLOGIA TEM DIVERSAS APLICAÇÕES; AS PRINCIPAIS SÃO EM FÁRMACOS, EQUIPAMENTOS DE ANÁLISE, MATERIAIS E UTENSÍLIOS MÉDICOS. UMA IMPORTANTE CLASSE DE MATERIAIS NANOTECNOLÓGICOS APLICADOS AO SETOR DE SAÚDE SÃO OS ANTIMICROBIANOS.

novos sistemas de medida; não somente a Europa e os Estados Unidos, mas países como o Brasil, China, Índia, Rússia —que já têm programas de pesquisa em nanotecnologia bastante significativos que participam desse esforço global de regulamentação da nanotecnologia, como tem recomendado a própria ONU—.

PROGRESSO CIENTÍFICO – CONHECIMENTO DA NATUREZA

O prefixo “nano” vem do grego (anão), mas significa também unidade de medida (escala do nanômetro), que aparece associado à nanotecnologia “NT” (2).

A nanotecnologia é o estudo de manipulação da matéria numa escala atômica e molecular. Geralmente lida com estruturas com medidas entre 1 a 100 nanômetros em ao menos uma dimensão, e inclui o desenvolvimento de materiais ou componentes e está associada a diversas áreas (como a medicina, eletrônica, ciência da computação, física, química, biologia e engenharia dos materiais) de pesquisa e produção na escala nano (escala atômica). O princípio básico da nanotecnologia é a construção de estruturas e novos materiais a partir dos átomos (os tijolos básicos da natureza). É uma área promissora, mas que dá apenas seus primeiros passos; contudo, vem mostrando resultados surpreendentes (na produção de semicondutores, nanocompósitos, biomateriais, chips, entre outros). Criada no Japão, a nanotecnologia busca

inovar invenções aprimorando-as e proporcionando uma melhor vida ao homem (3).

Um dos instrumentos utilizados para exploração de materiais nessa escala é o Microscópio Eletrônico de Varredura —o MEV—. O objetivo principal não é chegar a um controle preciso e individual dos átomos, mas elaborar estruturas estáveis com eles (4).

Richard P. Feynman foi o precursor do conceito da nanotecnologia, embora não tenha utilizado esse termo em sua palestra para a *Sociedade Americana de Física*, em 29 de dezembro de 1959, na qual apresentou pela primeira vez suas ideias acerca do assunto. A palavra “nanotecnologia” foi utilizada pela primeira vez pelo professor Norio Taniguchi, da Tokyo Science University, em 1974, para descrever as tecnologias que permitiam a construção de materiais a uma escala de 1 nanômetro (4).

Para se perceber o que isto significa, considere uma praia de 1.000 km de extensão e um grão de areia de 1 mm, esse grão está para essa praia como um nanômetro está para o metro. Em alguns casos, elementos da escala periódica da química mudam seu estado e ficam até explosivos em escala nanométrica. A nanotecnologia é a capacidade potencial de criar coisas a partir do menor elemento usando as técnicas e ferramentas que estão a ser desenvolvidas nos dias de hoje para colocar cada átomo e cada molécula no lugar desejado (3).

PROGRESSO CIENTÍFICO – NANOMEDICINA

No setor da saúde, a nanotecnologia tem diversas aplicações; as principais são em fármacos, equipamentos de análise, materiais e utensílios médicos. Uma importante classe de materiais nanotecnológicos aplicados ao setor de saúde são os antimicrobianos. A nanotecnologia potencializa o efeito antimicrobiano da prata, o que permite aplicações que antes não eram possíveis. As nanopartículas de prata podem ser incorporadas diretamente nos polímeros dos produtos médicos, adicionadas a pomadas ou aplicadas a superfícies metálicas de instrumentos cirúrgicos, o que os torna livres de bactérias (5).

De acordo com o coordenador do Centro de Nanotecnologia e Engenharia Tecidual da Universidade de São Paulo (FFCLRP/USP), três novos campos de pesquisa, combinados, abrem infinitas possibilidades para a área da saúde. São eles: a **nanotecnologia**, que trabalha com a dimensão de bilionésimos do metro; os **fotoprocessos**, modulados pela luz, e a **engenharia tecidual**, que objetiva restabelecer a integridade dos tecidos do corpo. O transplante de pele produzida em laboratório é uma dessas possibilidades, que pode beneficiar pacientes com queimaduras, doenças cicatriciais ou cutâneas (6).

A pele pode ser produzida a partir de células do próprio paciente ou de um banco de células. Transplantada para o paciente, essa pele deve ser tratada com medicamentos nanoestruturados que, ativados por laser, diminuem a rejeição, aceleram a cicatrização e facilitam a reconstituição do tecido. Os testes realizados com animais mostram, de fato, uma aceleração do processo de reconstrução da pele. Hoje os estudos são centrados em modelos animais e no entendimento do processo de biomodulação (6). Com a possibilidade de produção

desse autólogo de pele, pode-se, por cooperação, iniciar estudos em pacientes e evoluir para tratamento de várias patologias cutâneas.

Medicamentos nanoestruturados ativados por laser também têm sido testados para o tratamento de câncer de pele. Esse trabalho integra uma rede de instituições: Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP, Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Universidade de Brasília (UnB), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e Centro de Excelência do Tratamento de Câncer de Belém, além do Centro de Nanotecnologia e Engenharia Tecidual. Os resultados têm se mostrado bastante satisfatórios —no tratamento de câncer de pele do tipo não melanoma, dentre os mais de 600 pacientes já atendidos, o índice de cura chega a 98% na primeira aplicação do medicamento e a 100% na segunda (1)—.

Além disso, segundo dados do 7º Seminário Internacional de Nanotecnologia, realizado no Rio de Janeiro em 2011, outros tipos de medicamentos nanoestruturados, que não usam ativação pela luz, estão sendo estudados. A nanoestrutura, à qual o medicamento é associado, tem a finalidade de transportá-lo até um determinado alvo dentro do organismo. Graças a esse transporte seletivo, um medicamento com nanotecnologia, em geral, requer doses menores e provoca menos efeitos colaterais, se comparado a um medicamento convencional. Outra vantagem da nanoestrutura é permitir que o medicamento seja liberado continuamente e mantenha níveis constantes no organismo, enquanto a concentração de um medicamento convencional oscila bastante. A expectativa é que essas nanoestruturas, também chamadas nanocarregadores, possam ser aplicadas no tratamento não só de câncer de pele, mas também

de doenças degenerativas do sistema nervoso central, como o mal de Parkinson. Outra aplicabilidade refere-se, ainda, a ajudar no controle da dengue e da malária. Nesse caso, o trabalho, em parceria com o Inpa, envolve o desenvolvimento de bioinseticidas para garantir uma ação mais prolongada e, com isso, cobrir o horário de pico da propagação das larvas dos mosquitos; ensaios de campo estão em andamento.

PROGRESSO CIENTÍFICO — EFEITOS NA SAÚDE HUMANA E AMBIENTAL

Nanopartículas têm sido incorporadas a um número crescente de produtos comerciais. É fundamental, portanto, compreender como elas interagem com os organismos vivos. Afinal, os efeitos biológicos de um nanomaterial —tanto os benéficos quanto os prejudiciais— podem ser determinados pela forma como ele é absorvido, distribuído e eliminado pelo corpo. Entender como ocorrem essas interações ajuda a evitar impactos negativos das nanopartículas sobre a saúde humana e ambiental. Um trabalho, recém-publicado na *Nature Nanotechnology* (7) —revista multidisciplinar de alta qualidade nas áreas de nanociência e nanotecnologia— caracteriza a interação entre diferentes espécies químicas e nanopartículas. Ele leva em conta as forças que contribuem para essa interação, que podem ser medidas experimentalmente e descritas por modelos

matemáticos. O resultado é um índice que pode dar pistas de como nanomateriais se comportam diante de biomoléculas, o que ajuda a prever fenômenos complexos *in vivo*. De acordo com os pesquisadores, o BSAI pode abrir caminho na direção de uma nanomedicina preditiva e de uma avaliação quantitativa sobre o risco e a segurança de nanomateriais.

EXISTE MUITO DEBATE ACERCA
DAS IMPLICAÇÕES FUTURAS DA
NANOTECNOLOGIA, POIS OS
DESAFIOS SÃO SEMELHANTES AOS
DE DESENVOLVIMENTOS DE NOVAS
TECNOLOGIAS, O QUE INCLUI
QUESTÕES SOBRE A TOXICIDADE
E IMPACTOS AMBIENTAIS DOS
NANOMATERIAIS, E OS EFEITOS
POTENCIAIS NA ECONOMIA GLOBAL,
ASSIM COMO A ESPECULAÇÃO SOBRE
CENÁRIOS FUTUROS.

Por ser uma ciência emergente, a análise de animais pode ajudar a compreender os efeitos em seres humanos, levando em consideração suas especificidades. Os riscos dos nanomateriais para o ambiente aquático são visíveis, segundo o departamento de oceanografia biológica da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), pois se tem observado respostas moleculares, bioquímicas e fisiológicas após a exposição. Dentre os possíveis efeitos tóxicos dos nanomateriais sobre as espécies aquáticas, destacam-se: **expressão de genes associados à defesa antioxidante; peroxidação lipídica** —processo que, deflagrado pela formação

de radicais livres, acarreta alterações na estrutura e na permeabilidade das membranas celulares—; **danos ao tecido das brânquias, órgãos de respiração dos peixes, e alteração na frequência cardíaca** (8).

Existe muito debate acerca das implicações futuras da nanotecnologia, pois os desafios são semelhantes aos

de desenvolvimentos de novas tecnologias, o que inclui questões sobre a toxicidade e impactos ambientais dos nanomateriais, e os efeitos potenciais na economia global, assim como a especulação sobre cenários futuros.

PROGRESSO MATERIAL – EFEITOS ECONÔMICOS E AVANÇOS NA MEDICINA

O mercado que envolve nanotecnologia gera no mundo cerca de U\$ 300 bilhões anuais, segundo a National Science Foundation (NSF), agência do governo dos Estados Unidos. A expectativa é que o montante chegue a US\$ 1 trilhão em 2015 e ao triplo desse valor em 2020 (9).

No Brasil, segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (10), em oito anos —de 2000 a 2007— o investimento federal em nanotecnologia alcançou meros R\$ 195 milhões, sendo que os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul concentraram dois terços desses recursos. A soma significa menos de 5% do investimento total do Brasil em pesquisa no período (R\$ 3,9 bilhões). Foram 504 projetos (3,89%) de um total de 12.969 apoiados por financiamento governamental. Desse total, 91 projetos contaram com empresas envolvidas. Os obstáculos estão entre a criação e a pesquisa. O estímulo para superar esse entrave tem de ser dado por uma política de Estado. Parte do problema está entre o processo de criar e o de transformar essa criação em produto comercial. Mas esse cenário está mudando com a chegada de novas perspectivas de inovação no Brasil em 2013, o que é detalhado na próxima seção.

Para a próxima década, a expectativa é que o foco das pesquisas recaia no desenvolvimento de nanossistemas, com aplicação, especialmente, em nanomedicina. Os avanços dos estudos na área de diagnóstico e tratamento

de câncer foram, nos últimos anos, melhores do que o previsto. A China e o Japão são países que têm mostrado um importante crescimento em nanotecnologia —o número de chineses trabalhando nesse campo atualmente já se igualou ao de norte-americanos—(1).

PROGRESSO GLOBAL – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E COLABORAÇÃO INTERNACIONAL

A fim de tratar doenças que afligem milhões de pessoas em todo o mundo: esquistossomose e Aids, o Instituto de Tecnologia em Fármacos (Farmanguinhos/Fiocruz) aposta em dois estudos que envolvem o desenvolvimento de fármacos com o uso da nanotecnologia. O medicamento será fabricado na nova planta de nanopolímeros do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe/UFRJ), inaugurada em outubro de 2012. Resultado de um investimento de R\$ 11 milhões, a Planta Piloto de Polímeros ocupa uma área de 740m². **A instalação é a primeira do país capaz de produzir micro e nanopartículas com aplicações nas áreas médica, biotecnológica e farmacêutica.**

Outro projeto, com enfoque na produção de nanocelulose para aplicações odontológicas, biomédicas e ambientais, dentre outras, que envolve a Universidade Estadual Paulista (Unesp), Universidade de São Paulo (USP) e as universidades canadenses de Trent e de Toronto, foi aprovado pelo Programa Especial de Nanociências e Nanotecnologia do CNPq. Um exemplo é o estudo desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrônomas (FCA) da Unesp de Botucatu/SP, que apontou a viabilidade da utilização de nanofibras de celulose provenientes de folhas de abacaxi como reforço na produção de válvu-

A NANOTECNOLOGIA LEVANTA QUESTÕES JÁ CONHECIDAS PELA ÉTICA, PESQUISA E CIÊNCIA, TAIS COMO: PRIVACIDADE, CONCEPÇÃO DE SER HUMANO, DE JUSTIÇA, DE RISCOS, DE EUGENIA. NO ENTANTO, ELA MANTÉM SEU CARÁTER REVOLUCIONÁRIO. REVELA UMA FACETA SOBRE O PROGRESSO QUE COMPREENDE NO SER HUMANO INTERFERIR E CONTROLAR SUA PRÓPRIA EVOLUÇÃO. ESSE MOMENTO DA NANOTECNOLOGIA É RECONHECIDO COMO UM PERÍODO DE LATÊNCIA.

las cardíacas e outros biomateriais. Pesquisas similares serão conduzidas para desenvolver materiais utilizados em ligamentos de articulações, tímpanos e indutores na regeneração e reconstrução de tecidos.

Enquanto a microrrobótica ainda é invisível no Brasil, com iniciativas isoladas e investimentos pulverizados, a nanotecnologia como um todo entrou no radar do governo. O Ministério da Ciência e Tecnologia aumentará em 20 vezes o orçamento para esse campo em 2013: R\$ 101 milhões. Além disso, formou-se um comitê de dez ministérios para avaliar novas políticas de incentivo. O ministério descreverá quais laboratórios receberão verbas federais, dentro de um programa chamado SisNano. Uma contrapartida: os beneficiados devem disponibilizar 15% de seu tempo para usuários externos, como empresas, para que ganhem maior robustez.

Sobre a colaboração internacional, durante a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável —Rio+20—, o Brasil e a China elevaram o nível da parceria entre as duas nações para “estratégica global” e estabeleceram o Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia, que funcionará de forma virtual e faz parte do Plano Decenal Brasil-China de Cooperação 2012-2021 (11).

A nanotecnologia brasileira alcançou o mercado estrangeiro. A Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) destinou apoio de cerca de R\$ 2,5 milhões para a Nanox S.A, que exporta materiais bactericidas inorgânicos, abrir uma filial nos Estados Unidos, onde se encontra a maior parte de seus clientes. A aplicação da tecnologia dos antimicrobianos, foco de pesquisa da empresa está, principalmente, nas embalagens plásticas para alimentos. A empresa tem sede em São Carlos/SP, e foi fundada no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp) de Araraquara. A Nanox foi a primeira companhia brasileira a exportar nanotecnologia e é líder no mercado nacional (12).

PROGRESSO ÉTICO – PROMOÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA E EQUIDADE SOCIAL

A nanotecnologia levanta questões já conhecidas pela ética, pesquisa e ciência, tais como: privacidade, concepção de ser humano, de justiça, de riscos, de eugenia. No entanto, ela mantém seu caráter revolucionário. Revela uma faceta sobre o progresso que compreende no ser humano interferir e controlar sua própria evolução. Esse momento da nanotecnologia é reconhecido como um **período de latência** entre a introdução da tecnologia e a avaliação dos efeitos adversos. As implicações éticas

e sociais divergem dependendo de qual nanotecnologia se fala (13). Por este estudo focar a nanomedicina, a discussão transcorrerá nesse sentido.

A ética faz parte do discurso e das políticas de investigação e tecnologia que procura, sob a forma de pareceres e recomendações, não apenas fomentar a participação do público na tomada de decisões, mas também evitar reações adversas semelhantes às ocorridas com os Organismos Geneticamente Modificados (OGM). No seu sentido grego originário (de *ethos*), é uma reflexão (baseada em argumentos e não em provas irrefutáveis) sobre os fundamentos e os princípios morais e sobre aquilo que sustenta (valores, desejos) a ação humana em situações em que a escolha é possível. Tal como a medicina, a ética não é uma invenção recente como comprovam as diversas formas de filosofia moral grega (14).

Na visão da Universidade do Porto, as ações humanas têm uma dimensão normativa justamente porque o famoso conceito de responsabilidade moral só se aplica aos seres humanos, uma vez que são os únicos seres com capacidade de escolher, de agir de acordo com a liberdade e autonomia da sua consciência.

Na realidade, a autonomia individual é um bem que a sociedade deve salvaguardar, tanto mais que ela parece ser o ponto de convergência dos nossos julgamentos acerca da responsabilidade (14). Esse conceito, que transitou da esfera jurídico-política de Rousseau para o domínio da filosofia moral como autonomia da vontade de Kant, faz parte de várias teorias éticas filosóficas (16, 17). Transformou-se, a partir da segunda metade do século XX, num dos conceitos basilares do debate sobre os direitos e deveres repostos em causa pelos progressos da investigação biomédica. Como mostram

Beauchamp e Childress ou Engelhardt, o respeito pela *autonomia* é um dos princípios (a par da *beneficência*, *não maleficência*, *justiça*) estruturantes do esquema de pensamento que subjaz à bioética em geral (e de que faz parte a ética associada à profissão médica perspectivada na sua dimensão individual, social e corporativa) (18, 19).

As potencialidades resultantes da manipulação à escala nanométrica conferem à NT a aura de tecnologia revolucionária do século XXI, desde as áreas da saúde, segurança, eletrônica, agricultura e indústria alimentar, ao armazenamento de energia e purificação de água, como se pode ler (a propósito do estado da arte) no *The Hastings Center Bioethics Briefing Book for Journalists, Policymakers, and Campaigns* (20). O uso das NT e nanociências (também chamadas de tecnologias convergentes) para aplicação médica suscitam grandes esperanças, em termos de métodos de diagnóstico, administração localizada de fármacos, terapia gênica, engenharia de tecidos e medicina regenerativa (21).

Associadas ao uso das NT em medicina, uma das questões éticas mais frequentemente descritas na literatura (14, 22, 23) tem a ver com eventuais efeitos adversos da aplicação no corpo humano e seu impacto na saúde pública e ambiental, a médio e longo prazo. A NT permite fazer nanopartículas de materiais biodegradáveis e biocompatíveis; no entanto, para fins terapêuticos, destacam-se possíveis riscos de toxicidade (natureza do polímero e concentração administrada) e o grau de imprevisibilidade e incerteza do conhecimento atual sobre os seus efeitos colaterais nos sistemas biológicos, o que pode trazer consequências ao nosso sistema genético.

Uma das esperanças da nanomedicina no tratamento das doenças neurodegenerativas, entre outras, reside na

capacidade das nanopartículas em ultrapassar a chamada barreira hemato-encefálica e possibilitar, por exemplo, uma terapia gênica ao nível do sistema nervoso central (24). Não obstante, alguns autores advertem para a dificuldade em estabelecer uma fronteira clara entre fins terapêuticos e não terapêuticos (25). No uso de nanoproductos para fins não terapêuticos, as questões éticas mais referidas associam-se ao chamado *human enhancement* (valorização humana); trata-se de produzir alterações num corpo humano saudável com o único intuito de aumentar capacidades e desempenhos, o que lhe confere uma situação de privilégio face aos restantes, uma vez que deixariam de ser qualidades ditas espontâneas ou inatas. Por exemplo, no caso dos atletas, permitiria um *doping* invisível mediante nanodispositivos que estimulassem a velocidade de corrida e a resistência, o que põe em causa as condições de acesso equitativo e a justiça; alterações físicas do cérebro ou um *nanochip* que permita uma vigilância ou até um controle do comportamento humano. Esses exemplos de potenciais nanoimplantes invisíveis no corpo humano, que ainda fazem parte do domínio da ficção no estado atual da NT, levantam a questão das suas implicações na identidade pessoal e social do ser humano (relação a si e aos outros). Trazem para o debate problemas de natureza filosófica, fundamentais na história da filosofia moral, tais como: os conceitos de normalidade e natural, a questão humano-máquina e a artificialização da natureza, a confusão entre natureza humana e condição humana (26).

O processo de aprovação de novos fármacos na medicina convencional parece se estender à NT e deve resultar sempre o bem-estar e a saúde das pessoas. No caso da comercialização de nanofármacos ou nanossistemas para administração localizada de drogas (por exemplo, com nanopartículas magnéticas encapsuladas através de

lipossomas³), aplica-se a lógica do Princípio da Precaução⁴ e do cálculo riscos *vs* benefícios (14).

Pelo exposto, não necessitamos de uma ética nova, mas sim inteligente. Precisamos de reflexão ética porque os problemas da prática médica (convencional) não se solucionam com o mero cumprimento de um código deontológico —à maneira de Kant ou Bentham— no sentido do “dever fazer” (17, 27). Revestem-se de complexidade e têm de ser perspectivados nas suas dimensões médicas, sociais, jurídicas, psicológicas, ético-filosóficas.

CONCLUSÃO

São necessários mais estudos para definir concentrações seguras de exposição aos nanomateriais, estabelecer normas de utilização e instituir regras adequadas para a eliminação dos resíduos associados à atividade nanotecnológica.

A nanotecnologia é considerada a tecnologia-chave do século XXI; visto isso, é preciso estar atentos às condições de possibilidade do conhecimento e do que esperar, no caso presente e futuro da (nano) medicina, para que se traduza em práticas clínicas eficazes e seguras para o progresso benéfico à condição humana.

3 O uso de formas lipossomais, como sistemas de liberação lenta de medicamentos, é viável clinicamente por serem tipicamente feitos de moléculas lipídicas de origem natural, biodegradáveis e não tóxicas. Os lipossomas podem proteger o fármaco de degradação enzimática (Fiocruz, 2006).

4 O Princípio da Precaução é a garantia contra os riscos potenciais que não podem ser ainda identificados. Este Princípio afirma que a ausência da certeza científica formal, a existência de um risco de um dano sério ou irreversível requer a implementação de medidas que possam prever este dano (Conferência Rio-92).

A sociedade tem se relacionado com a ciência e com os avanços científicos de uma forma muito mais rápida e integrada que em outros tempos, o que tem provocado discussões sobre a ética em vários campos da ciência. Mas não basta apenas o consenso de que uma política técnico-científica deva ser orientada para a inovação apenas para garantir competitividade nos mercados nacional e internacional; é necessário pensar que critérios devem nortear essa política. A Universidade, neste cenário, pode dar sua contribuição fundamental às novas gerações na formação intelectual, científica e tecnológica e nas discussões sobre as questões éticas implicadas, em mais ampla dimensão. Outra ação de extrema importância consiste em fortalecer um imediato, intenso e empenhado diálogo entre as áreas das Ciências da Natureza, das Engenharias e das Ciências Sociais e Humanas.

REFERÊNCIAS

1. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. Nanoinvestimentos na área da saúde. [Boletim eletrônico] Nov. 2011 [Acesso 22 maio 2013]. Disponível em: <http://www.ensp.fiocruz.br/portal-ensp/informe/site/materia/detalhe/28569>
2. Ebbessen M, Jensen TG. Nanomedicine: techniques, potentials, and ethical implications. *J Biomed Biotechnol* [periódico na internet]. Nov. 2006 [Acesso 22 abril 2013]. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1779503/?report=classic>
3. European Technology Platform on Nanomedicine. [Comunicado à imprensa] Nov. 2006 [Acesso 5 maio 2013]. Disponível em: <http://www.etp-nanomedicine.eu/public>
4. Nobelprize Organization. Nobel prize in physics [Comunicado à imprensa] Nov. 1996 [Acesso 15 abril 2013]. Disponível em: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/press.html
5. Seminário Internacional em Nanotecnologia/RJ. [Boletim eletrônico] Nov. 2011 [Acesso 20 maio 2013] Disponível em: <http://www.nanotecnologiafotomedicina.org/index.php/conteudo/show/id/97>
6. Tedesco AC. Nanomedicina e engenharia tecidual aplicados à saúde. Nov. 2011. Em: Anais do 7º Seminário Internacional em Nanotecnologia, 2011; Rio de Janeiro [Acesso 3 maio 2013]. Disponível em: <http://www.nanotecnologiafotomedicina.org/index.php/conteudo/show/id/97>
7. Xia X, Monteiro-Riviere NA, Riviere JE. Index for characterization of nanomaterials in biological systems. *Nature Nanotechnology* [periódico na internet] Mar. 2010 [Acesso 5 maio 2013] 9(5): [about 164 p.]. Disponível em: <http://www.nature.com/nano/journal/v5/n9/full/nnano.2010.164.html>
8. Monserrat JM. Efeitos tóxicos induzidos por nanomateriais em organismos aquáticos. Em: Anais do II Simpósio Brasil-Canadá sobre nanotecnologia, 2012; Florianópolis [Acesso 19 maio 2013]. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/labs/toxicologia.ambiental/programacao.htmls>
9. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq. Agência do Ministério da Ciência e Tecnologia [boletim eletrônico] [Acesso 11 maio 2013]. Disponível em: <http://www.cnpq.br/web/guest/noticias>
10. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada — IPEA. Fundação associada à Secretaria de Assuntos Estratégicos. Brasil em desenvolvimento: Estado, planejamento e políticas públicas. Brasília: IPEA; 2009.
11. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência — SBPC. Brasil e China assinam programa de nanotecnologia. *Jornal da Ciência*. [Acesso 28 abril 2013]. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=84031>
12. Universidade do Estado de São Paulo (UNESP). A Financiadora de Estudos e Projetos — Finep — impulsiona exportação de nanotecnologia brasileira para o exterior [boletim eletrônico]. Fev. 2013 [Acesso maio 2013]. Disponível em: <http://www.isaude.net/pt-BR/noticia/33769/geral/finep-impulsiona-exportacao-de-nanotecnologia-brasileira-para-o-exterior>

13. Silva MBTS. Reflexos de Imagens — discursos sobre ética e nanotecnologia nas literaturas médica e bioética [dissertação]. Universidade de Brasília-UnB; 2009.
14. Costa HS. Nanomedicina e questões éticas em perspectiva. [periódico na Internet] Universidade do Porto; Jan. 2013 [Acesso 23 abril 2013]. Disponível em: <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/8359.pdf>
15. Canto-Sperber M. L'inquiétude morale et la vie humaine. Paris: PUF; 2001. [Acesso 7 março 2013]. Disponível em: http://books.google.com.br/books/about/L_inqui%C3%A9tude_morale_et_la_vie_humaine.html?pid=7atHe8X6_qAC&redir_esc=y
16. Rousseau JJ. Discurso sobre a origem e os fundamentos da desigualdade entre os homens. Em: Coleção *Os Pensadores*. São Paulo: Abril Cultural; 1978.
17. Kant I. Crítica da Razão Prática. Lisboa: Edições 70; 1999.
18. Beauchamp TL, Childress JF. Principles of biomedical ethics. Inglaterra: Oxford University Press; 1991.
19. Engelhardt Jr HT. Global bioethics: the collapse of consensus. Estados Unidos da América: M & M Scrivener Press; 2006.
20. Murray TH, organization. The Hastings Center: bioethic briefing book for journalists, policymakers, and campaigns. Nova York: Mary Crowley; 2008.
21. Kaiser M. Drawing the boundaries of nanoscience — rationalizing the concerns? *J Law Med Ethics*. 2006; 34 (4): 667-674.
22. McCarth, JR, Kelly KA, Sun EY. Targeted delivery of multifunctional magnetic nanoparticles. *Nanomedicine*. 2007; 2 (2):153-167.
23. Gao JH, Xu B. Applications of nanomaterials inside cells. *Nano Today*. 2009; 4 (1): 37-51
24. Sussmuth S. Blood-brain barrier in neurodegenerative diseases: perspectives for nanomedicine. *European Journal of Nanomedicine*. 2009; 2: 39-47.
25. Bawa R, Johnson S. The ethical dimensions of nanomedicine. *Medicine Clinical North American*. 2007; p. 881-7.
26. Dupuy JP. Some pitfalls in the philosophical foundations of nanoethics. *J Medicine Philos*. 2007; p. 237-61.
27. Bentham J. Introduction to the principles of morals and legislation. Buffalo: Prometheus Books; 1988.
28. Conferência Rio-92. [boletim eletrônico Senado Federal]. [Acesso 12 abril 2013]. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx>