

# As nanotecnologias e as indústrias: aplicações e implicações

## Nanotechnologies and industries: applications and implications

João Maia,  
University of Coimbra, Portugal

**Resumo**—Este artigo faz um levantamento das possíveis aplicações da nanotecnologia às indústrias ligadas ao ambiente, saúde e transformação, entre outras. O trabalho também contribui para o debate ético e político sobre as implicações decorrentes de um novo regime tecnológico baseado nas nanotecnologias. Haverá necessidade de uma forte cooperação científica e tecnológica internacional de modo a mitigar as possíveis fraturas sociais e ambientais. Em paralelo, os países devem desenvolver políticas internas para adaptarem os seus enquadramentos institucionais e sociais às tecnologias emergentes, incluindo o alargamento do debate social sobre as suas aplicações.

**Palavras-Chave** — Nanotecnologias; Indústrias; Ética; Política; Enquadramento institucional e social.

**Abstract**—This article surveys the possible applications of nanotechnologies to industries linked to the environment, health and transformation, among others. The work also develops the ethical and political debate on the implications arising from a new technological regime based on nanotechnology. A strong international scientific and technological cooperation will be necessary to mitigate possible social and environmental fractures. In parallel, countries must implement internal policies to adapt their institutional and social frameworks to emerging technologies, including enlarging the social debate on their applications.

**Keywords** — Nanotechnologies, Industries, Ethics, Politics, Institutional and social framework.

**Submitted**—07-01-2022. **Accepted**—20-05-2022.



- 
- *João Maia*, Associate researcher at the Center for Interdisciplinary Studies at the University of Coimbra (CEIS20) and collaborating researcher at the Center for Humanistic Studies at the University of Minho (CEHUM).  
E-mail: joaomaia750@gmail.com

DOI:<http://dx.doi.org/10.21814/perspectivas.3618>

## 1 Introdução

Desde há décadas que se têm registado desenvolvimentos muito significativos em áreas emergentes da tecnologia (Maia 2017). É o caso, por exemplo, da genética e da engenharia genética, das neurociências, das ciências da computação, da robótica, e das nanotecnologias. Esta última área, devido às suas características intrínsecas, tem o potencial de se ligar às outras referidas ciências e tecnologias, tanto na fase da investigação de base como na fase da investigação aplicada (Al-Rodhan 2011). Neste sentido, veremos que as nanotecnologias poderão trazer grandes vantagens económicas quando aplicadas a diferentes tipos de indústria: por exemplo, as indústrias ligadas ao ambiente, a indústria da saúde e as indústrias transformadoras. Com efeito, as nanotecnologias poderão tornar-se as novas tecnologias mais proeminentes.

Este artigo pretende fornecer uma panorâmica sobre as possibilidades de aplicação concreta das nanotecnologias a diferentes tipos de indústrias. Por outro lado, também pretende discutir as implicações políticas, em matérias de justiça e de segurança sociais, da utilização destas tecnologias na economia, saúde e ambiente. Tal questão releva a necessidade de reorganizar o enquadramento institucional e social dos países, bem como de reorganizar as relações entre eles, no sentido de adaptar as economias ao novo regime tecnológico. Em particular, é dada especial relevância às aplicações da nanotecnologia na área da saúde. Embora seja defensável, na linha dos trabalhos de alguns autores (Freeman and Louçã 2004), estarmos na iminência de uma quarta revolução industrial, na verdade, as aplicações das nanotecnologias ao genoma e organismo humanos podem alertar para o facto de estarmos à beira de uma revolução num sentido mais amplo (Al-Rodhan 2011); um sentido antropológico. Daí a relevância de se estudar de forma aprofundada estes processos, no âmbito da sociologia económica e das relações internacionais, sob pena de se gerarem fraturas profundas entre populações humanas e entre regiões ou territórios, dadas as lógicas competitivas com que os mercados funcionam (Nunes 2011; Garcia 2009). Por fim, como exemplos ilustrativos, deixamos alguns dados relativos ao ponto da situação das

nanotecnologias em países, dando especial ênfase a Portugal no momento atual. No contexto português, realça-se a necessidade de delinear estratégias não só nacionais, mas também regionais de desenvolvimento socioeconómico no quadro de uma reforma administrativa do território. Também serão abordadas as questões do debate social sobre a aplicação das tecnologias emergentes e do papel nesse debate das instituições de ensino superior. europeia.

## 2 Definição geral

Para fundamentar a exposição que se segue, acerca das aplicações das nanotecnologias a diferentes tipos de indústrias, importa entender o que é a nanotecnologia. Rui F. Lobo define-a da seguinte forma:

*A nanotecnologia assenta na manipulação controlada da matéria à escala molecular e apoia-se num corpo de conhecimentos científicos fortemente multidisciplinares (Nanociência), que tem por base, e em última análise o comportamento quântico da matéria e efeitos superficiais específicos à nano-escala, os quais se designam genericamente por Nanofísica (Lobo 2009, 11).*

A nanotecnologia envolve, a visualização, medição, modelação e manipulação da matéria à nanoescala (Santos 2011). Neste sentido, como defende Nick Bostrom (2003), a nanotecnologia, como uma área da investigação em desenvolvimento, poderá permitir através de processos, dirigidos por máquinas não-biológicas, o controlo da junção dos átomos. Na fabricação molecular, pretende-se que cada átomo vá para um lugar escolhido fazendo a ligação com os outros átomos de uma forma designada. Sendo que tudo o que nos rodeia, incluindo nós próprios, é composto por átomos e moléculas, os investigadores desta área têm grandes expectativas nas implicações do desenvolvimento destas tecnologias uma vez que elas nos poderão facultar um controlo maior sobre o mundo material.

### 3 Aplicações industriais ligadas ao ambiente e multivariadas

No entanto, como refere Nuno C. Santos (2011), já hoje as aplicações da nanotecnologia são vastas. Segundo este autor, existem várias aplicações tanto sob a forma de protótipos como de produtos já existentes no mercado. Desde logo, na área do ambiente tem havido progressos notáveis na disponibilização de energia mais limpa e/ou mais barata com o desenvolvimento de protótipos de painéis solares tornados mais eficientes através da incorporação de sistemas nanotecnológicos. A nanotecnologia já é, aliás, usada em novas baterias mais pequenas e de maior duração para telemóveis, computadores e outros dispositivos. Por sua vez, o recurso a materiais nanoestruturados tem permitido desenvolvimentos muito significativos na catálise e armazenamento de hidrogénio em células de combustível para sistemas de transporte não dependentes dos combustíveis fósseis. Ainda em matéria ambiental, as nanotecnologias podem ajudar na disponibilização de água potável através de processos rápidos e baratos de purificação ou deteção de impurezas. Isto pode ser conseguido através da remoção magnética de poluentes da água como o arsénio usando nanocristais de magnite. Bostrom (2003) defende mesmo que este tipo de processos pode vir a ser aplicado à limpeza dos solos e do ar, através de conveniente remoção de partículas.

No nosso dia-a-dia encontramos materiais melhorados pelas nanotecnologias. Falamos do desenvolvimento de materiais mais fortes, mais leves, mais duráveis ou melhor condutores:

*Os materiais nanoestruturados têm sido usados, por exemplo, na preparação de filmes finos, tornando-os repelentes da água, auto-laváveis, resistentes à radiação ultravioleta ou infravermelha, dando-lhes propriedades anti-embaciamento, antimicrobianas ou de resistência aos riscos. Estes nanofilmes são já usados em óculos, pára-brisas automóveis, ecrãs de computadores e lentes de câmaras (Santos 2011, 29).*

Também a indústria informática, que tem desenvolvido computadores mais rápidos, mais poderosos e de maior eficiência energética através da produção de transístores cada vez mais pequenos

e através do aumento drástico da capacidade de armazenamento de informação, poderá beneficiar de um impulso das nanotecnologias. Outra área de aplicação dos nanomateriais é o desporto, melhorando o desempenho em modalidades como a natação, a canoagem ou o ténis.

### 4 A indústria da saúde

Os avanços tecnológicos possibilitados pela nanotecnologia também estão a chegar à saúde abrindo todo um novo campo de intervenções médicas. O conceito de nanomedicina, embora recente, já foi objeto de várias definições. É o caso da definição da The European Science Foundation:

*The field of nanomedicine is the science and technology of diagnosing, treating and preventing disease and traumatic injury of relieving pain, and of preserving and improving human health, using molecular tools and molecular knowledge of the human body (Boisseau and Loubaton 2011, 621).*

Ou o caso da definição da The European Technology Platform on Nanomedicine:

*Nanomedicine is defined as the application of nanotechnology to health. It exploits the improved and often novel physical, chemical, and biological properties of materials at the nanometric scale. Nanomedicine has potential impact on the prevention, early and reliable diagnosis and treatment of diseases (idem).*

Assim, desde há anos, têm-se vindo a desenvolver dispositivos de intervenção médica a esta escala. Tem sido possível ultrapassar as limitações das técnicas tradicionais de diagnóstico. Estas últimas implicam o envio de sangue ou de outros fluidos corporais para análises clínicas que podem demorar horas, dias ou até semanas, com os custos e deterioração que isso pode implicar. Já nos métodos de diagnóstico *in vitro*, que têm vindo a ser possibilitados pelas nanotecnologias, uma ferramenta pode ser um único biossensor ou um dispositivo integrado que contenha muitos biossensores. Estes são sensores que contêm uma unidade biológica, tal como uma enzima, capaz de reconhecer e sinalizar através de alguma alteração

bioquímica a presença de uma molécula biológica específica. Neste processo, um transdutor é usado para converter um sinal bioquímico noutro sinal. Os principais atributos dos biossensores são a sua especificidade e sensibilidade. Com técnicas eletrônicas sofisticadas tem sido possível a miniaturização dos biossensores, permitindo a sua atuação em amostras menores. Os conjuntos de sensores integrados executam medidas diferentes, em paralelo, numa única amostra. Neste sentido, os novos avanços tecnológicos mostram a grande promessa para a concretização de um dispositivo totalmente integrado que forneça dados suficientes para um diagnóstico médico a partir de uma única amostra (Boisseau and Loubaton 2011).

Ainda no método de diagnóstico *in vivo*, a convergência das nanotecnologias e imagiologia médica pode abrir as portas a uma revolução na imagiologia molecular (ou nanoimagem) num futuro próximo, levando à deteção de uma única molécula ou de uma única célula num ambiente biológico. Por exemplo, os métodos de imagem atuais só podem detetar os tumores quando provocam alterações visíveis. Nesse momento já milhares de células terão proliferado causando perigos para a saúde da pessoa. Em alternativa pode ser desenvolvido um método em que as células cancerosas ou mesmo pré-cancerosas sejam marcadas para deteção por meios convencionais de digitalização. Uma hipótese é o uso de anticorpos em nanopartículas que, uma vez dentro do corpo, irão ligar-se às células cancerígenas iluminando-as para deteção. Mas, de um modo geral, estruturas de nanoescala, para introduzir no corpo humano, poderão ser úteis não só para detetar patologias, mas também para efetuar o seu tratamento por nanomanipulação (*idem*).

Já são visíveis progressos assinaláveis com os chamados nanofármacos, incluindo o tratamento dos tumores. Várias técnicas de tratamento podem ser exploradas. Falamos de tratamentos direcionados destinados a bloquear as proteínas envolvidas no crescimento e progressão tumoral. Para isso pretende-se usar nanotransportadores, sistemas coloidais à nanoescala capazes de transportar agentes anticancerígenos, tais como minúsculos fármacos ou macromoléculas como genes ou proteínas. Tratando-se de uma terapia dirigida, pretende-se que estes agentes anticancerígenos

evitem tecidos normais e sejam acumulados em tumores, atingindo uma concentração citotóxica mais elevada para os tumores e uma toxicidade reduzida para o resto do corpo. Em particular, destacamos as nanopartículas poliméricas como transportadoras promissoras na terapia do cancro, porque têm permitido a co-entrega eficiente de vários compostos citotóxicos e de outros agentes terapêuticos com propriedades sinérgicas para tumores, mostrando toxicidade reduzida e melhoria farmacocinética (Pérez-Herrero and Fernández-Medarde 2015).

No entanto, as potencialidades da nanomedicina não terminam aqui. Existe um potencial de desenvolvimento nesta área que se conjuga com outras tecnologias emergentes, como a engenharia genética. Na medicina regenerativa, material genético pode ser dirigido à manipulação de células estaminais adultas de modo a curarem tecidos afetados por uma doença. Este potencial autorregenerador das células estaminais só recentemente foi descoberto (Boisseau and Loubaton 2011). Por outro lado, a nanotecnologia também pode ajudar no desenvolvimento de biomiméticos, ou seja, biomateriais inteligentes, projetados para reagir positivamente às mudanças no seu ambiente imediato e estimular eventos regenerativos específicos à escala molecular com o objetivo de gerar tecidos saudáveis (*idem*).

Estes desenvolvimentos na investigação, estando muitos deles ainda numa fase experimental, têm pela frente desafios, desde logo em questões de segurança e de saúde públicas. Nanomateriais como nanotubos e nanopartículas poderão ser usados para regular os níveis de glicose, dióxido de carbono e colesterol no corpo humano providenciando sistemas de aviso precoce para problemas de saúde (Al-Rodhan 2011). No entanto, alguns estudos de toxicidade revelaram indícios dos problemas no sistema respiratório e no metabolismo que estes nanodispositivos podem causar (Hermerén 2011). Há um longo caminho a percorrer, pese embora os resultados positivos que algumas terapias já demonstraram. Estas questões, para além de se colocarem na área da saúde, também se colocam na área do ambiente (*idem*). Que danos causarão ao ambiente alguns nanomateriais já usados? Que efeito terá, nesse seguimento, a libertação de nanopartículas no ar, nas águas e

nos solos? Estaremos a inventar novas formas de contaminação e de poluição? E que efeitos terão nos ecossistemas?

No uso das nanotecnologias na saúde, há desde logo uma série de parâmetros éticos a estabelecer, como advertem Patrick Boisseau e Bertrand Loubaton (2011). Por exemplo, o princípio da não-instrumentalização que implica que os indivíduos sejam fins em si mesmo, no tratamento da sua saúde, e não sejam utilizados como meios para atingir outros fins. Também o princípio da privacidade ganha relevância. As nanotecnologias vêm possibilitar uma medicina mais personalizada. É lícito esperar que a informação respeitante a uma pessoa seja preservada no âmbito estrito da intervenção médica e não seja facultada a terceiros para outros fins. O modelo de medicina personalizada não deve ser, por sua vez, contraditório com o princípio da não-discriminação no tratamento. As diferenças no tratamento médico das pessoas podem-se justificar em função da situação clínica de cada pessoa, mas deve vigorar, de forma universal, a igualdade de direitos no acesso aos cuidados de saúde. Também o consentimento livre e informado a respeito do tratamento deve ser garantido ao paciente. Por fim, os autores destacam o princípio da precaução, que avisa para a necessidade de avaliar permanentemente os riscos das novas tecnologias, tanto para a sociedade como para os indivíduos.

Estes princípios podem ser estendidos às ligações das nanotecnologias a outras tecnologias emergentes, como a engenharia genética. No entanto, as dinâmicas assentes no modelo económico-social dominante faz surgir o espectro ameaçador de uma sociedade mais dividida e desigual devido à utilização de tecnologias emergentes, como é o caso da nanotecnologia. Isso mesmo é referido por autores como Thomas A. Faunce:

*The strong contemporary influence of the corporate sector over global health law and policy development, combined with the lucrative appeal of rapidly advancing nanotechnology, makes the significant threat to public health from these applications greater than many other emerging technologies and of double relevance to health policymakers (Faunce 2007, 631).*

Neste sentido, alguns autores falam da neces-

sidade de um trabalho aturado entre reguladores, legisladores, comités de especialistas e organizações com vista à uniformização internacional das normas de utilização das tecnologias emergentes. Para além das questões de segurança, há questões de justiça social que se prendem com a transferência do conhecimento científico-tecnológico para os países em vias desenvolvimento, não descuidando, neste contexto, as questões de saúde e de educação. No entanto, o que hoje assistimos já nesta área, como noutras, é uma captura da economia da saúde por interesses privados. A inovação é realizada segundo o critério do lucro em vez de seguir a fiabilidade do produto, num sistema que coloca os recursos ao serviço de apenas alguns através de mecanismos de concentração das riquezas. Os próprios fundos públicos para a investigação científica acabam por obedecer a certos interesses (Hermerén 2011; Faunce 2007).

Neste contexto, que doenças serão definidas como prioritárias na investigação ligada às tecnologias emergentes? É incerto que venha a haver espaço para a resposta às questões de saúde dos mais desfavorecidos. Pode-se suspeitar que o investimento seja canalizado para criar produtos acessíveis apenas aos estratos socioeconómicos mais elevados. Como refere o relatório da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), de 2014, intitulado O princípio da não-discriminação e da não-estigmatização, a indústria farmacêutica aposta essencialmente no desenvolvimento de respostas às doenças globais e às necessidades de as pessoas adotarem os estilos de vida socialmente aceites ou desejáveis nos países desenvolvidos ou em elites abastadas dos países em vias de desenvolvimento. Em relação às doenças tropicais e infecciosas que mais afetam os países pobres, a investigação é mais escassa (UNESCO 2014). Na verdade, não serão apenas as populações dos países mais pobres a serem afetadas pelas diferenças sociais no acesso às tecnologias de saúde emergentes. As derivas neoliberais nas políticas públicas proporcionam fenómenos de exclusão e de discriminação social, mesmo nos países desenvolvidos, ao concretizarem lógicas economicistas nas gestões dos sistemas de saúde em desfavor de lógicas de solidariedade social (Nunes 2011). Por outro lado, num âmbito mais abrangente, da generalização dos produtos

nanotecnológicos, estará garantida a transparência das decisões políticas e dos direitos dos consumidores? Poderá ser real o perigo do privilégio do lucro na produção e venda em vez da salvaguarda da qualidade do produto e da informação pública sobre os seus riscos e/ou efeitos secundários.

## 5 A nanoconvergência e as indústrias transformadoras

A interseção das aplicações industriais das nanotecnologias com outras tecnologias emergentes irá conduzir a diferentes tipos de produtos. Nayef Al-Rodhan (2011) afirma que as próximas revoluções tecnológicas, ao contrário das anteriores, poderão dar de forma transversal a várias disciplinas em vez de se darem numa disciplina particular. Defende-se assim que o desenvolvimento tecnológico passará por sinergias, colaborações e convergências entre áreas científicas. Ora, as nanotecnologias, dada a sua natureza, serão um espaço de convergência para áreas como a biotecnologia, a inteligência artificial, as ciências cognitivas e as tecnologias de informação e de comunicação.

Poder-se-ão desenvolver sistemas artificiais de grande complexidade e autonomia. A chamada *nanotecnologia* pode ser o passo decisivo para a construção de sistemas de inteligência artificial muito avançados. Em nanotecnologia, os blocos elementares são os átomos, cuja estabilidade é explicada pela mecânica quântica. Pretende-se com sistemas de automontagem (Self-assembly SA) que as estruturas moleculares tenham a capacidade de se organizarem em arranjos ordenados 1D, 2D ou 3D por processamento adequado (Lobo 2009). Tem-se vindo a criar, desta forma, métodos viáveis para o desenvolvimento da biologia sintética.

*Esta emerge como um novo ramo da biologia ao qual são aplicados os conceitos de padronização da engenharia na conceção e construção de partes, módulos e circuitos que não existem no mundo natural, bem como o redesenhar de sistemas biológicos já existentes de modo a que desempenhem novas funções (Tamagnini and Pacheco 2011, 97).*

Certamente que as possibilidades de aplicação da biologia sintética são inúmeras e incluem a

agricultura, indústria farmacêutica, novas estratégias terapêuticas, biorremediação e energias sintéticas. Neste contexto, a biologia sintética pode ir muito longe e dar ao ser humano a possibilidade de criar vida por meios e recursos artificiais. Esta área introduz o conceito de chassis que significa o organismo ou a célula que vai receber material sintético. Na verdade, o chassis pode ser a célula sem o material genético original ou, no futuro, uma célula artificial (Tamagnini and Pacheco 2011). Também o desenvolvimento de sistemas alternativos ao ADN tem sido alvo de grande atenção

*nomeadamente com a expansão do código genético através da criação de um sistema baseado em seis nucleótidos (dois novos: xeno-nucleótidos) e de uma polimerase capaz de replicar esta nova molécula (idem, 101).*

Estes processos poderão, cada vez mais, diluir a diferença entre o biológico e o artificial. A partir do momento em que criamos sistemas que são capazes de se autorreplicarem ou de se reproduzirem estamos perante sistemas que não dependem da vontade e da intervenção direta humana. Sendo um campo de potencial aplicação industrial, a nanotecnologia, pela sua capacidade autorreplicadora, poderá diminuir os custos de produção e de transformação dos produtos. Neste sentido, há nestes processos um potencial enorme de aplicação. A replicação ou a reprodução espontânea das nanoestruturas possibilitará o desenvolvimento muito rápido e barato de diferentes produtos, incluindo dos produtos alimentares. Por exemplo, o governo dos Estados Unidos da América gasta anualmente centenas de milhões de dólares em projetos nesta área (Bostrom 2003).

As nanotecnologias muito provavelmente irão ter um efeito revolucionário nas indústrias, uma vez aplicadas em larga escala. No entanto, estes tipos de transformações não se dão de forma automática. Como defendem Chris Freeman e Francisco Louçã (2004), será necessário mudar o enquadramento institucional e social sempre que um regime tecnológico atingir os seus limites para dar lugar a uma tecnologia mais proeminente em crescimento rápido. Neste caso, as nanotecnologias poderão estar na base de uma nova revolução industrial à semelhança daquilo

que fizeram, noutros momentos, as tecnologias das máquinas a vapor, das máquinas elétricas, dos motores de combustão interna e, mais recentemente, as tecnologias de informação e de comunicação. No entanto, considerando as ideias de Nayef Al-Rodhan (2011), poderemos estar perante uma revolução tecnológica com características muito diferentes das anteriores. As nanotecnologias, mais do que substituir outros tipos de tecnologia, tenderão a aglutinar outras tecnologias. Nesta medida, olhando para os exemplos já referidos, no que diz respeito aos efeitos da nanomedicina no organismo, poderemos estar perante uma revolução tecnológica num sentido muito amplo, num sentido antropológico.

## 6 O debate ético e político

Esta dimensão de transformação antropológica alerta-nos para um grande dilema ético que poderemos enfrentar como espécie. Se não forem acauteladas as condições para um acesso igualitário ao conhecimento científico-tecnológico, poder-se-ão gerar fraturas entre diferentes populações, à escala global. Isto, desde já, porque as disparidades entre diferentes regiões do mundo são muito grandes no que respeita à ligação dos sistemas de investigação a áreas cruciais como a da saúde. Mais uma vez o relatório de 2014 da UNESCO sobre O princípio da não-discriminação e da não-estigmatização é explícito ao apontar aos países ditos em desenvolvimento um quadro de pobreza, de debilidade das instituições, de falta de capacidade de investigação científica, de falta de comunicações e de infraestruturas, de incapacidade de transferência do conhecimento para as políticas e de fracos sistemas de regulação da medicação. Nesta medida, existe, nestes países, uma fraca colaboração entre os estados e a indústria farmacêutica de modo a contrariar as questões de saúde que se tornam marcantes em sociedades com estas características. Por outro lado, existem regimes apertados em matéria de direitos de propriedade nos medicamentos que dificultam o tratamento destas problemáticas. Esta realidade já levou alguns países a adotarem licenças sobre a produção de alguns tipos de medicamentos de modo a permitirem a sua manufatura local e de modo permitir o seu uso por parte daqueles que

necessitam. Uma má abordagem destas questões levará à estigmatização e à marginalização dos doentes acentuando estereótipos e preconceitos em relação a grupos sociais que fogem à norma (UNESCO 2014).

Torna-se, portanto, necessário reforçar a ação no plano da transferência do conhecimento científico e tecnológico entre países desenvolvidos e países em vias de desenvolvimento. Blocos como a União Europeia e os Estados Unidos da América devem encetar programas de cooperação com outras regiões. Esses programas devem possibilitar a países menos desenvolvidos o acesso a novas tecnologias que permitam criar as suas estruturas científicas, em correspondência com as necessidades das populações. A Organização das Nações Unidas (ONU) pode ter um papel promotor, através das suas agências, deste tipo de programas. O levantamento de muitas das restrições impostas pelo regime de patentes parece incontornável para concretizar os objetivos de tais programas.

O regime de patentes tem também vindo a caracterizar a economia da genética. Neste contexto, à esperança da satisfação das necessidades alimentares da população mundial, que poderia ser fortalecida com tecnologias emergentes, poderá sobrepor-se o controlo das patentes e da produção, segundo as lógicas do lucro. Como refere José Luís Garcia (2009), através dos direitos de propriedade, a biotecnologia tende a retirar as sementes das mãos dos camponeses para as colocar nas mãos das empresas transformando, pela mediação tecnológica, a biodiversidade num recurso não renovável. Por exemplo, os organismos geneticamente modificados surgem, no cultivo agrícola, numa lógica de monopolização e redução da biodiversidade.

Podem então originar-se sérios desequilíbrios não só na qualidade de vida das pessoas como na sustentabilidade dos territórios. Na linha das ideias de Freeman and Louçã (2004), urge pensar de forma estratégica o enquadramento institucional e social dos territórios para a adaptação às tecnologias emergentes. São necessárias políticas que salvaguardem a coesão social nesta matéria. Neste âmbito, é crucial apostar no desenvolvimento do ensino e da investigação das nanotecnologias associado ao desenvolvimento regional, dentro de cada país, que aglutinem diferentes agentes sociais, tais

como órgãos políticos, empresas, instituições de saúde e instituições de ensino superior. Estão em causa clivagens profundas, a várias escalas, que em grande medida principiaram com os processos de industrialização associados aos processos de dominação política (Barata 2003). A transferência do conhecimento científico-tecnológico dos países desenvolvidos para os países em vias de desenvolvimento deve obedecer à especificidade dos países recetores.

De modo geral, do ponto de vista de cada país, este tipo de questões fazem levantar a dimensão educativa. É preciso informar os estudantes do potencial das nanotecnologias, antes de muitos produtos deste tipo entrarem no mercado. Sendo necessária uma força de trabalho especializada nesta matéria, tanto nas academias como nas empresas, as matérias sobre nanomedicina e nanobiotecnologia ainda têm escassa presença nos currículos. Esta realidade verifica-se em Portugal (Santos 2011). É necessário introduzir cursos de nanomedicina nos currículos de medicina para que a próxima geração de médicos esteja bem informada sobre as tecnologias e os produtos que irão encontrar quando começarem a sua prática profissional. Como referência, neste campo, a estratégia da Plataforma Tecnológica Europeia para a Nanomedicina, em 2006, indicava a necessidade de estabelecer programas educativos de modo a possibilitarem aos estudantes créditos em nanomedicina nas universidades europeias de maior competência nessa área (idem). De forma análoga, houve uma estratégia semelhante implementada nos Estados Unidos da América pelo National Nanotechnology Initiative (idem).

Em Portugal, como primeiros passos dados nesta área, podemos apontar a dinamização do ensino de nanomedicina no Centro Académico de Medicina de Lisboa (CAML) visando tanto o ensino de pré-graduados como o ensino pós-graduado (idem). As nanotecnologias pelo seu carácter transversal a várias disciplinas, como a biologia, a física e as engenharias, implicam a inclusão integrada destes conteúdos na aprendizagem. Atendendo ao rápido e constante avanço dos conhecimentos científicos, deverá ser facultada a formação contínua a todos os que lidam com as tecnologias em causa.

Uma vez que se consiga desenvolver a ligação

do ensino superior e das suas unidades de ID às comunidades e às indústrias, levanta-se o problema das tecnologias emergentes poderem substituir a força de trabalho humana. Em particular, a implementação da maquinaria como mão de obra tem sido discutida na literatura científica (Saner and Wallach 2015). As interações entre as inovações tecnológicas e as inovações socioeconómicas são complexas. As novas tecnologias também criam novos empregos que podem compensar a perda de trabalho que advém dos processos de inovação.

Uma série de questões permanecem pertinentes: Quais os empregos que serão mais propensos à dispensa num futuro próximo? Quais são as interações entre os processos de inovação tecnológicos e os processos de inovação socioeconómica? Serão a aceleração tecnológica e o crescimento económico, sem ganhos de emprego e de distribuição da riqueza, inevitáveis, dado que os ganhos de produtividade não estão, automaticamente, ligados a ganhos de emprego e de rendimentos? Para onde deverá ser direcionado o debate político e onde é que a ação governativa é mais urgente e adequada? Como é que a educação e as práticas de trabalho se devem adaptar à inovação tecnológica e à tendência para standardizar as capacidades humanas?

Em última instância, o problema das tecnologias emergentes releva a seguinte questão: Quais são as aplicações prioritárias que lhes queremos dar? A literatura mais recente, que se debruça sobre a aplicação das nanotecnologias, revela a falta de estudos sobre os riscos para o meio ambiente, saúde e segurança, assim como acerca dos aspetos éticos, legais e sociais envolvidos, existindo uma grande heterogeneidade regulatória à escala mundial sobre esta matéria (Quevedo, Carvalho, Fonseca and Nunes 2019). Na verdade, trata-se de enquadrar as tecnologias emergentes num regime de cidadania inclusivo que legitime politicamente a sua aplicação. Em países como a França e a Alemanha já ocorreram algumas iniciativas de diálogo social sobre esta matéria. Em Portugal, são raras as experiências de diálogo com a sociedade, tendo-se registado essencialmente algumas ações participativas em áreas da saúde, frequentemente envolvendo associações de pacientes (idem). Funcionando no Minho, desde 2009, o Laboratório Internacional Ibérico de Na-

notecnologia (INL), cujo objetivo principal é o desenvolvimento de inovações nanotecnológicas, verifica-se que a sua interação com o público é uma ambição ainda não bem concretizada. Na verdade, tem-se vindo a encarar o público como uma entidade com défice de literacia sobre este assunto (idem). Esta abordagem dificulta uma inclusão dos diferentes agentes sociais no debate e na deliberação política sobre as tecnologias emergentes, sendo que a investigação científica acaba por não ser orientada para a resolução das necessidades mais prementes das populações, já que está encapsulada em determinadas esferas de poder. Este fenómeno pode, inclusivamente, originar movimentos antinotecnologias, tendo por base a reação das populações à interferência das tecnologias nas suas vidas, como já aconteceu nalguns casos (idem).

Desde logo, importa prevenir o surgimento desses movimentos. Aqui os municípios podem ter um papel importante a desempenhar como órgãos políticos de proximidade às populações. Em países como Portugal, os municípios integram em si fóruns de discussão e deliberação, abertos aos cidadãos, como é o caso dos conselhos municipais. Em particular, os conselhos municipais da saúde devem ser um espaço de auscultação e de decisão democrática sobre a aplicação das tecnologias emergentes nas comunidades, no que diz respeito aos efeitos diretos e indiretos na saúde pública e no meio ambiente. Estes espaços devem inclusivamente prever a participação de atores supramunicipais, como dirigentes públicos, cuja esfera de influência está ao mesmo tempo dentro e fora dos municípios. Pretende-se com isto garantir uma interação frutífera entre os diferentes níveis de ação e de decisão. Com efeito, as nanotecnologias apresentam um campo especialmente fecundo para a polémica com a sua potencial interferência na dimensão biológica. Nessa medida, há que atender aos moldes em que o debate público deve decorrer: poderá haver aspetos para aprimorar no funcionamento dos referidos conselhos. Dando o seu contributo para o debate bioético, João Arriscado Nunes (2003) defende que, numa biopolítica democrática, há que verificar, desde logo, a seleção dos temas, a organização do debate e o modo de deliberação. Com estas premissas, deverá haver uma correlação positiva com os poderes políticos.

Tudo isto se operacionaliza tendo em atenção os seguintes pontos: (1) o reconhecimento de forma alargada de atores, temas, formas de conhecimento e formas de expressão dando voz a todos (2) a inclusão de todos, tendo em conta os modos de interação no debate (3) o caráter agnóstico, ou não dogmático, dos temas e a impossibilidade de atingir consenso absoluto em todas as questões (4) a ação com precaução, fazendo compromissos exequíveis (5) a criação de espaços de debate que não sejam de cima para baixo e tenham livre definição de linguagens (6) a criação de espaços de encontro, debate e decisão entre todos, incluindo cidadãos, peritos e políticos (7) o uso das tecnologias de informação e de comunicação em tempo real (8) o reconhecimento dos diferentes espaços e níveis envolvidos. Neste sentido, para este autor, há que apostar no empoderamento dos cidadãos, na composição de novas realidades e identidades coletivas, na obtenção de resultados reguladores e na distribuição dos custos e benefícios de acordo com critérios de justiça social, cognitiva e ambiental.

Se atendermos às três dimensões de justiça referidas, somos obrigados a delinear uma esfera decisória intermédia entre os poderes local e central. Temos assistido de forma cada vez mais acentuada ao desenvolvimento de desigualdades socioeconómicas entre diferentes regiões de Portugal. Os dados do Instituto Nacional de Estatísticas (INE) relativos aos Censos 2021 revelam um fenómeno geral de quebra demográfica com especial incidência em zonas rurais e do interior do país (INE 2021). Quando se fala da adaptação do enquadramento institucional e social a um novo regime tecnológico, importa desde logo, no contexto português, definir estratégias regionais de desenvolvimento socioeconómico que respondam às necessidades das populações e dos territórios. Para isso há que desenvolver estruturas de organização política regional com legitimidade democrática direta. Estas estruturas deverão delinear e implementar estratégias de desenvolvimento regional colocando em comunicação e em cooperação os diferentes agentes desses territórios, como as empresas, as instituições de saúde e as instituições de ensino e investigação científica.

Neste quadro, o avanço na democratização das estruturas dirigentes das Comissões de Coorde-

nação e de Desenvolvimento Regional (CCDR) pode ser uma forma de combater o acentuado centralismo que o país regista. Ainda assim, aquilo que vulgarmente se designa como a regionalização é um assunto complexo e polémico que já foi alvo de rejeição do povo português anteriormente. Existem outros modelos possíveis de reorganização do mapa administrativo português. Na linha de Rui Canário (s/d), os modelos e os planos de desenvolvimento regional e local devem respeitar a identidade e as características endógenas dos territórios. De modo que esta questão não deve ser resolvida sem um aprofundado debate público. Por outro lado, Portugal ainda tem o desafio da transição digital para cumprir, um objetivo estratégico que não deve ser adiado. Mas, ao mesmo tempo, não deve desprezar a necessidade de desenvolver as estruturas que permitam o salto para o regime tecnológico seguinte. As nanotecnologias, pelo seu caráter de charneira, conferem uma relevância particular às estratégias políticas e sociais de âmbito regional e local. Isto aplica-se especialmente no domínio ambiental onde cada vez mais se colocam desafios de sustentabilidade a compatibilizar com aspetos de desenvolvimento. As estruturas regionais de decisão política deverão ter responsabilidades sobre estratégias da aplicação da ciência e da tecnologia, através dos diferentes agentes sociais, nos domínios da educação, investigação científica, economia, saúde e ambiente. O quadro institucional em que estas estruturas políticas regionais se irão definir, em concreto, deverá ser discutido no quadro de uma reforma administrativa do território português.

## 7 Considerações finais

As nanotecnologias serão determinantes na próxima geração de inovações tecnológicas, que tenderão não só a revolucionar as indústrias, mas também a biomedicina, tocando a definição do humano. Países como os Estados Unidos da América têm feito um forte investimento nesta área a fim de salvaguardar as suas vantagens competitivas. Uma vez que áreas como a saúde e o ambiente se têm desenvolvido, numa lógica de lucro, o debate sobre as nanotecnologias tem não só uma dimensão política, mas também social e ética. Como apontam dados oficiais (UNESCO 2014),

são grandes as disparidades, entre países, em particular na sua capacidade científico-tecnológica, dado o atraso das estruturas deste tipo nos países em desenvolvimento. Este atraso manifesta-se na inabilidade de transferência do conhecimento para as políticas, em áreas como a saúde. É certo que muitas das aplicações das nanotecnologias ainda estão em fase experimental, mas, logo que elas sejam generalizadas, existe um risco muito sério de se gerarem fraturas muito grandes entre territórios e populações, visíveis em indicadores relativos à economia, saúde e ambiente. Torna-se imperioso assegurar a transferência do conhecimento científico-tecnológico entre os países ricos e os países pobres, esbatendo a consolidação de um sistema internacional de patentes que impossibilite lógicas de solidariedade social. Muitos países têm outro tipo de necessidades básicas que inviabiliza a passagem a um regime tecnológico tão avançado, como o que se caracterizará pelo domínio da nanotecnologia. Mas não aprofundar a cooperação científica e tecnológica com estes países significaria tornar maior um fosso que prejudicará a preservação dos equilíbrios ambientais e geopolíticos.

Para além do quadro de trocas que deve ser estabelecido no âmbito das relações internacionais, os países deverão desenvolver políticas que salvaguardem a sua coesão social e territorial nesta matéria. Neste contexto, assume destaque o desenvolvimento do ensino e da investigação científica da nanotecnologia, associado aos polos regionais que aglutinem as instituições de ensino superior e os agentes sociais, como os órgãos políticos, as empresas e as instituições de saúde. No caso português este tipo de solução deve servir para se avançar na reforma administrativa do território, através da criação de estruturas políticas regionais de legitimidade democrática direta. As implicações para o emprego e para o rendimento, resultantes da alteração das cadeias transformadoras, pela introdução das nanotecnologias nas indústrias, também entram nesta discussão. Para além das prováveis perdas de emprego, as novas áreas da tecnologia poderão criar novos empregos em áreas de alta intensidade científico-tecnológica. Importa ao poder político antever muitos destes impactes, mobilizando políticas e recursos, de acordo com estratégias adequadas.

Por exemplo, na educação e na formação, essas estratégias devem garantir vias profissionais adequadas. Nos casos em que os profissionais lidam com tecnologias de especial complexidade, como é o caso da nanotecnologia, a educação e formação deverão assentar em dimensões interdisciplinar, prática e contínua, ao longo da vida, atendendo à constante evolução científico-tecnológica.

Uma outra questão prende-se com a necessidade de criar quadros regulamentares nos diferentes países, para atuarem sobre os mercados das nanotecnologias de modo a prevenir, para o ambiente e para a saúde, o eventual efeito tóxico de produtos mal concebidos ou mal fabricados. A regulamentação sobre esta matéria implicará uma padronização internacional. Para tudo isso, é necessário organizar o debate democrático junto dos diferentes públicos sobre a aplicação das nanotecnologias nos territórios e nas comunidades. Importa garantir que as aplicações das novas tecnologias obedecem à satisfação das necessidades prementes das pessoas, numa lógica de sustentabilidade, não ficando reféns de interesses especiais.

Em Portugal, este caminho ainda está largamente por fazer (Quevedo, Carvalho, Fonseca, and Nunes 2019). O país deve organizar as suas redes territoriais, de modo a cumprir a transição digital, mas, ao mesmo tempo, preparar as suas estruturas para um regime tecnológico onde as nanotecnologias tenderão a reunir diferentes tecnologias. Laboratórios como o INL deverão ter presença em várias regiões do país para contribuírem para a adaptação de todo o território nacional ao enquadramento institucional e social relacionado com o regime tecnológico emergente. No âmbito da reorganização institucional, as unidades de ID deverão procurar desenvolver a investigação interdisciplinar, promovendo a transferência do conhecimento científico-tecnológico para as comunidades e empresas, de modo a que este conhecimento obedeça a projetos de desenvolvimento sustentável de acordo com a especificidade de cada território.

Para favorecer a transição para a interdisciplinaridade no ensino superior português, deverão ser feitas ligações entre as diferentes unidades científicas fomentando o cruzamento disciplinar. Já hoje várias instituições de ensino superior nacionais têm unidades orgânicas dedicadas a pro-

mover o ensino e a investigação interdisciplinar. É exemplo disto o Instituto de Investigação Interdisciplinar da Universidade de Coimbra (III/UC), o Instituto de Investigação e Formação Avançada da Universidade de Évora (IIFA) e o Instituto Coordenador de Investigação da Universidade da Beira Interior (ICI). São institutos que oferecem formação superior avançada e integram em si unidades ID assentes na convergência de áreas do saber e na concretização de equipas multidisciplinares. No entanto, num plano largamente mais avançado da organização do ensino superior, as práticas interdisciplinares deverão ser intrínsecas a cada unidade científica. É uma abordagem que reforçará a necessidade de uma educação e de um ensino assentes nas dimensões humanistas conjugadas com as componentes científicas. Este caminho, por moroso que seja, tem que ser aprofundado uma vez que as respostas aos diferentes problemas, sejam sociais, económicos ou ambientais, exigem uma visão conjunta.

## Referências

- [1] Al-Rodhan, Nayef. (2011). *The Politics of Emerging Strategic Technologies: Implications for Geopolitics, Human Enhancement and Human Destiny*. In Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- [2] Barata, Óscar Soares. (2003). *Demografia e Sistema Internacional*. Lisboa: Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas
- [3] Boisseau, Patrick, and Bertrand Loubaton. (2011). *Nanomedicine, Nanotechnology in Medicine*. Comptes Rendus Physique 12: 620-636.
- [4] Bostrom, Nick. (2003). *The transhumanist FAQ*. Acedido em 22 de fevereiro de 2014. <http://www.transhumanism.org/resources/FAQv21.pdf>.
- [5] Canário, Rui. *Educação e perspectivas de desenvolvimento do Interior*. Acedido em 1 de outubro de 2003. [http://www.presidencia-republica.pt/pt/biblioteca/outros/interioridade/1\\_3.html](http://www.presidencia-republica.pt/pt/biblioteca/outros/interioridade/1_3.html).
- [6] Faunce, Thomas A. (2007). *Nanotechnology in global medicine and human biosecurity: private interests, policy dilemmas, and the calibration of public health law*. The Journal of Law, Medicine and Ethics 35(4): 629-642.
- [7] Freeman, Chris, and Francisco Louçã. (2004). *Ciclos e crises no capitalismo global: das revoluções industriais à revolução da informação*. Porto: Edições Afrontamento.
- [8] Garcia, José Luís. (2009). *Biocapital e mercado de futuros biotecnológicos*. In *Os desafios da engenharia genética: propriedade intelectual, utilidade efectiva e debate político*, organizado por Reinhard Naumann, 117-150. Lisboa: Fundação Friedrich Ebert.
- [9] Hermerén, Goran. (2011). *Ethics and Nanotechnologies*. In *Nanotecnologias e O.G.M.: Ciência, Ética, Sociedade Actas do 11.º Seminário do CNECV*, editado pelo Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida, 35-50. Lisboa: Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida.
- [10] INE. (2021). *Censos 2021 Resultados Preliminares*. Acedido em 27 de setembro de 2021. [https://www.ine.pt/scripts/db\\_censos\\_2021.html](https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html).
- [11] Lobo, Rui Filipe Marmont. (2009). *Nanotecnologia e Nanofísica (Conceitos de Nanociência Moderna)*. Lisboa: Escolar Editora.
- [12] Maia, João Jerónimo Machadinha. (2017). *Transumanismo e pós-humanismo: descodificação política de uma problemática contemporânea*. Ph.D. dissertação. Instituto de Investigação Interdisciplinar da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- [13] Nunes, João Arriscado. (2011). *Os mercados fazem bem à saúde? O caso do acesso aos cuidados*. Revista Crítica de Ciências Sociais 95: 137-153.
- [14] Nunes, João Arriscado. (2003). *From bioethics to biopolitics: new challenges, emerging responses*. Oficina do CES 193: 1-19.
- [15] Pérez-Herrero, Edgar, and Alberto Fernández-Medarde. (2015). *Advanced Targeted Therapies in Cancer: Drug Nanocarriers, The Future of Chemotherapy*. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 93: 52-79.
- [16] Quevedo, Josemari, António Carvalho, Paulo Fonseca, and João Arriscado Nunes. (2019). *Ciência, tecnologias emergentes e sociedade: o caso dos debates sobre nanotecnologias em Portugal*. Forum Sociológico 35: 73-81.
- [17] Saner, Marc, and Wendell Wallach. (2015). *Technological unemployment, AI, and workplace standardization: the convergence argument*. Journal of Evolution and Technology 25(1): 74-80.
- [18] Santos, Nuno C. (2011). *Nanomedicina Ciência, Tecnologia e Educação*. In *Nanotecnologias e O.G.M.: Ciência, Ética, Sociedade Actas do 11.º Seminário do CNECV*, editado pelo Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida, 27-34. Lisboa: Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida.
- [19] Tamagnini, Paula, and Catarina Pacheco. (2011). *Biologia sintética: A engenharia genética radical*. In *Engenharia Genética: Princípios e Aplicações*, 2. Edição, coordenado por Arnaldo Videira, 97-102. Lisboa: Lidel.
- [20] UNESCO. (2014). *Report of the IBC on the principle of non-discrimination and non-stigmatization*. Acedido em 6 de julho de 2015. <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002211/221196E.pdf>.



**João Maia** é doutorado em Estudos Contemporâneos, pela Universidade de Coimbra, com a tese intitulada *Transumanismo e pós-humanismo: descodificação política de uma problemática contemporânea*. É investigador associado do Centro de Estudos Interdisciplinares da Universidade de Coimbra (CEIS20) e investigador colaborador do Centro de Estudos Humanísticos da Universidade do Minho (CEHUM). É, também, autor de publicações e de comunicações científicas nas áreas da economia política e dos estudos sobre ciência e tecnologia.