

## Convergência tecnológica e saúde: desafios bioéticos em um contexto de transformação

Convergencia tecnológica y salud: desafíos bioéticos en un contexto de transformación

Technological convergence and health: bioethical challenges in a context of transformation

DOI: 10.22481/rbba.v14i2.15520

Murilo Karasinski

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Paraná, Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6099-6968>

ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6009263948443145>

Endereço eletrônico: [k.murilo@pucpr.br](mailto:k.murilo@pucpr.br)

### RESUMO

No século XXI, a Convergência Tecnológica (CT) — composta pela nanotecnologia, biotecnologia, tecnologia da informação e ciências cognitivas (NBIC) — está transformando profundamente a sociedade. Essas áreas, ao se integrarem, criam novas possibilidades para a ciência e a tecnologia, moldando o futuro da humanidade. A relação entre progresso científico e riscos éticos, como os dilemas da justiça distributiva e a privacidade, torna-se cada vez mais relevante em um contexto de inovações tecnológicas aceleradas. A CT sugere um cenário em que a saúde, a biotecnologia e a inteligência artificial convergem para transformar o corpo humano e expandir suas capacidades, mas também levantam questões bioéticas importantes, como o acesso justo às tecnologias e a preservação da dignidade humana. Em tempos de crise global, a reflexão sobre essas inovações e seus impactos é fundamental para garantir que os benefícios sejam amplamente compartilhados, preservando o equilíbrio entre o avanço tecnológico e os valores humanos.

Publicado sob a Licença Internacional – CC BY

ISSN 2316-1205	Vit. da Conquista, Bahia, Brasil / Santa Fe, Santa Fe, Argentina	Vol. 14	Num.2	Dez/2024	pps. 58-71
----------------	--	---------	-------	----------	------------

Submissão: 30/10/2024 Aprovação: 02/12/2024 Publicação: 12/12/2024

**Palavras-Chave:** Convergência Tecnológica. Bioética. Saúde

### **RESUMEN**

En el siglo XXI, la Convergencia Tecnológica (CT), compuesta por la nanotecnología, biotecnología, tecnología de la información y ciencias cognitivas (NBIC), está transformando profundamente la sociedad. Estas áreas, al integrarse, crean nuevas posibilidades para la ciencia y la tecnología, moldeando el futuro de la humanidad. La relación entre el progreso científico y los riesgos éticos, como los dilemas de justicia distributiva y privacidad, se vuelve cada vez más relevante en un contexto de innovaciones tecnológicas aceleradas. La CT sugiere un escenario donde la salud, la biotecnología y la inteligencia artificial convergen para transformar el cuerpo humano y expandir sus capacidades, pero también plantean cuestiones bioéticas importantes, como el acceso equitativo a las tecnologías y la preservación de la dignidad humana. En tiempos de crisis global, la reflexión sobre estas innovaciones y sus impactos es fundamental para garantizar que los beneficios se compartan ampliamente, preservando el equilibrio entre el avance tecnológico y los valores humanos.

**Palabras clave:** Convergencia Tecnología. Bioética. Salud

### **ABSTRACT**

In the 21st century, Technological Convergence (TC)—encompassing nanotechnology, biotechnology, information technology, and cognitive sciences (NBIC)—is profoundly transforming society. As these fields integrate, they create new possibilities for science and technology, shaping humanity's future. The relationship between scientific progress and ethical risks, such as distributive justice dilemmas and privacy concerns, becomes increasingly relevant in the context of accelerated technological innovations. TC suggests a scenario where health, biotechnology, and artificial intelligence converge to transform the human body and expand its capabilities, while also raising important bioethical issues, such as equitable access to technologies and the preservation of human dignity. In times of global crisis, reflecting on these innovations and their impacts is essential to ensure that the benefits are widely shared, maintaining a balance between technological advancement and human values.

**Keywords:** Converging Technologies. Bioethics. Health

## INTRODUÇÃO

Em 1982, Gabriel García Márquez recebeu o Prêmio Nobel de Literatura pela obra *Cem Anos de Solidão*. Escrita em 1967 e retratando um século e sete gerações de uma única família, os Buendía, na fictícia cidade de Macondo, o enredo fundia histórias bíblicas e mitos, ciência e magia, o entrelaçamento cíclico do espaço e do tempo, criando uma narrativa, inovadora e experimental para sua época, em que a história terminava o tempo todo, mas nunca encontrava seu fim.

A obra se iniciava com a descrição do casamento de Úrsula Iguarán, matriarca que viria a conhecer todas as gerações de sua estirpe, com José Arcadio Buendía, que era seu primo-irmão. Ao violar o tabu da proibição do casamento entre consanguíneos, a linhagem dos Buendía fora obrigada a se retirar da sociedade e fundar Macondo, descrita como “a aldeia mais arrumada e laboriosa que qualquer outra que seus 300 habitantes tivessem conhecido. Era de verdade uma aldeia feliz, onde ninguém tinha mais de trinta anos e onde ninguém tinha morrido” (Marquez, 2015, p. 16). No entanto, a reincidência do incesto, traço recorrente da narrativa, macularia a linhagem genética dos Buendía e os condenaria, justamente, a cem anos de solidão.

Para além das ligações incestuosas, interessante também desde o princípio era a relação entre a ciência, representada sobretudo pelo “cigano corpulento, de barba indomada e mãos de pardal” (Marquez, 2015, p. 7), chamado de Melquíades, de um lado, e os conhecimentos tradicionais e míticos da população de Macondo, de outro. Os avanços trazidos pelos ciganos – que perambulavam pelo mundo, mas regressavam de tempos em tempos – contrastavam com a simplicidade e inocência dos nativos, de modo que a analogia garciamarquiana retratava também, entre outros aspectos, uma análise da história do “progresso” da sociedade.

*Cem Anos de Solidão*, além de ser um marco da literatura do século XX, é singular porque permite a reflexão sobre vários temas que serão objeto de uma análise mais profunda no bojo do presente trabalho. Os perigos genéticos para as estirpes advindas de um casamento consanguíneo, o avanço do conhecimento científico e o recrudescimento da superstição em uma sociedade que se torna secular, bem como as indagações sobre o destino da humanidade na Terra, por exemplo, todos da alçada direta da obra de Gabriel García Márquez, são temas recorrentes também na era da *Convergência Tecnológica* (CT), assunto que inicia, mas igualmente permeia toda a estrutura de raciocínio deste artigo.

## O CONCEITO DE CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA

De acordo com um dos artigos pioneiros sobre Convergência Tecnológica (CT) no Brasil, *A Nova Convergência da Ciência e da Tecnologia*, de autoria de Esper Abrão Cavalheiro (2007), existem pelo menos cinco abordagens que ajudam a definir o conceito de CT. A primeira delas, proposta pela *National Science Foundation*, dos Estados Unidos, destaca quatro grandes áreas da ciência e tecnologia que estão se desenvolvendo de forma muito rápida (Cavalheiro, 2007, p. 25). Roco e Bainbridge (2003, p. ix) aprofundam essa visão, argumentando que a CT consiste na combinação sinérgica das seguintes áreas: 1) Nanociência e nanotecnologia; 2) Biotecnologia e biomedicina, incluindo a engenharia genética; 3) Tecnologia da informação e inteligência artificial; e 4) Ciência cognitiva e neurociência cognitiva. Essa integração é conhecida pela sigla NBIC (*nano-bio-info-cogno*).

Na segunda abordagem, apresentada pela *Royal Society* e pela *Royal Academy of Engineering*, do Reino Unido, Cavalheiro (2007, p. 25) explica que a CT está relacionada às diversas formas pelas quais as nanotecnologias, dada sua natureza interdisciplinar, podem se combinar com outras tecnologias no futuro. Aqui, o foco principal está nas nanotecnologias como eixo central de convergência.

A terceira definição, do *High Level Expert Group*, da Comunidade Europeia, caracteriza a CT como “[...] o conjunto de conhecimentos e tecnologias que se unem em busca de um objetivo comum” (Cavalheiro, 2007, p. 25), destacando como principal característica o estabelecimento de agendas e metas específicas para fomentar a convergência entre diferentes áreas.

Já a quarta definição, do *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, da Espanha, foca no “[...] estudo interdisciplinar das interações entre sistemas vivos e sistemas artificiais, com o objetivo de criar dispositivos que expandam ou melhorem as capacidades cognitivas e comunicativas” (Cavalheiro, 2007, p. 25). Além disso, a proposta espanhola se preocupa com o aumento das capacidades físicas dos indivíduos e com o bem-estar social.

Por fim, a quinta abordagem é apresentada pelo *Study Centre for Technology Trends*, da Holanda, que vê a CT como “a emergente interação entre áreas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico que anteriormente estavam separadas. Essa mudança qualitativa abre novas possibilidades tecnológicas” (Cavalheiro, 2007, p. 25), resultando em impactos sociais revolucionários e disruptivos.

Essa diversidade de abordagens reflete a amplitude do conceito de Convergência Tecnológica e suas diferentes implicações, tanto tecnológicas quanto sociais. Ademais, de acordo com Alfred Nordmann (2004, p. 12), a Convergência Tecnológica (CT) faz referência às tecnologias habilitadoras (*enabling technologies*) e aos sistemas de conhecimento que, quando integrados e inter-relacionados, colaboram para a realização de um objetivo comum. As tecnologias NBIC — nanotecnologia, biotecnologia, tecnologia da informação e ciências cognitivas — são as que mais contribuíram para essa convergência, sendo consideradas revolucionárias e imprevisíveis, de acordo com os modelos americano e holandês. Seguindo a linha do conceito espanhol, os defensores da CT sustentam que os avanços científicos e tecnológicos, incluindo a melhoria da condição humana, são essencialmente benéficos, pois partem da premissa de que a condição humana é deplorável e o homem é ontologicamente imperfeito.

Por outro lado, Nordmann (2004, p. 3) apresenta quatro premissas que sustentam o potencial transformador da CT. A primeira delas é o enraizamento dessas tecnologias na infraestrutura da sociedade, de tal forma que se tornariam invisíveis à ação humana. Quanto mais eficazes essas tecnologias se tornassem, menos as pessoas perceberiam sua dependência delas ou até mesmo sua presença. Isso levaria a profundas transformações nas sociedades, que, diante de um crescimento exponencial, enfrentariam mudanças significativas em indivíduos e grupos, especialmente no contexto de ambientes virtuais, materiais inteligentes e conexões onipresentes.

A segunda premissa aborda o alcance ilimitado da CT. A nanotecnologia, por exemplo, busca controlar todos os aspectos da matéria, desde os átomos até as moléculas, acompanhada pela crescente capacidade da tecnologia da informação de converter praticamente tudo em dados. Como resultado, surgiria a percepção de que nada estaria fora do alcance das CTs, e que aspectos como a mente humana, as interações sociais, a comunicação e até os estados emocionais poderiam ser moldados por essas tecnologias.

Além disso, a CT também se estende à engenharia da mente e do corpo, a terceira premissa. A proposta envolve a modificação física do corpo humano por meio de implantes eletrônicos e digitais, além do uso de neurociências cognitivas para expandir as capacidades intelectuais e promover a modificação do *Homo sapiens*.

Por fim, a quarta premissa seria a especificidade dessas tecnologias, que permitiria intervenções extremamente detalhadas, como a modificação genética. Esse tipo de intervenção, já comum em sementes transgênicas, poderia ser direcionado à prevenção de doenças ou à

criação de seres humanos imunes a riscos congênitos. Assim, a CT moldaria profundamente o futuro de toda a população mundial, influenciando o sistema de saúde, os padrões de envelhecimento, os modos de vida urbana, a participação política e, mais radicalmente, a própria constituição biológica dos seres humanos.

Segundo Jim Spohrer (2003, p. 102), os avanços em diversas áreas tecnológicas e científicas têm o potencial de transformar profundamente a condição humana, de maneira semelhante ao impacto que a linguagem teve sobre nossa espécie há cerca de 100 mil gerações. Spohrer (2003, p. 102) aponta que os progressos na nanotecnologia, ao desfazer as fronteiras entre sistemas moleculares naturais e artificiais; nas ciências da informação, com a criação de máquinas inteligentes e autônomas, nas biociências e ciências da vida, por meio da extensão da vida humana através da genômica, e nas ciências cognitivas e neuronais, com o desenvolvimento de redes neurais artificiais e a decodificação do funcionamento do cérebro, são elementos centrais dessa transformação. Nesse contexto, é fundamental identificar as etapas e promessas dessa visão, que sugere que a humanidade está prestes a ingressar em um novo Renascimento tecnológico e científico.

## **A CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA COMO UM *NOVO RENASCIMENTO***

Roco e Bainbridge (2003, p. ix) argumentam que a Convergência Tecnológica coloca os seres humanos em uma posição única para compreender tanto o mundo natural quanto a sociedade humana como sistemas hierárquicos e complexos, interconectados entre si. Esse entendimento possibilitaria, em última instância, uma melhoria do desempenho do *Homo sapiens* por meio da integração com as tecnologias NBIC (nanotecnologia, biotecnologia, tecnologia da informação e ciências cognitivas). Os autores destacam seis principais campos de aplicação: expansão da cognição; aprimoramento físico e biomedicina; robótica e dispositivos inteligentes; interfaces homem-máquina; unificação da ciência e educação; e modelagem computacional do planeta Terra. Esses campos englobam pesquisas sobre o aumento das capacidades cognitivas e sensoriais individuais, redução do declínio da memória com o tempo, prolongamento da vida humana, desenvolvimento de novas técnicas para aprimoramento físico e a criação de sistemas de comunicação altamente eficientes, como interações cérebro-a-cérebro, além de avanços em interfaces homem-máquina por meio da engenharia neuromórfica.

Se, por um lado, a seleção natural é o motor que impulsiona a evolução das formas de vida, a CT, segundo Edward Wilson (2013, p. 122), pode originar o que ele chama de *seleção*

*volitiva*, uma nova força evolutiva capaz de alterar radicalmente o curso da humanidade. No entanto, muito antes desses prognósticos modernos sobre a CT, a Itália, nos séculos XV e XVI, foi palco de uma revolução cultural que ficou conhecida como o Renascimento. Movido por um intenso movimento comercial e o crescimento urbano, o Renascimento contou com o patrocínio da rica burguesia, que financiava as artes e os artistas. Esse movimento propôs o resgate dos valores da Antiguidade Clássica, com ênfase no humanismo, em oposição ao teocentrismo medieval. Seus resultados legaram ao mundo as obras de Leonardo da Vinci, Michelangelo, Rafael, Shakespeare, Cervantes, além da filosofia de Michel de Montaigne, Thomas Morus e Francis Bacon.

Roco e Bainbridge (2003, p. 4) sugerem que a CT pode reacender, atualmente, o espírito do Renascimento que transformou a sociedade europeia. A fragmentação intelectual e a especialização que caracterizam o conhecimento contemporâneo poderiam ser superadas pela convergência das tecnologias, principalmente na escala nanométrica, onde os princípios fundamentais da física podem ser aplicados tanto a sistemas orgânicos quanto inorgânicos. Esse novo paradigma explicaria desde o comportamento de microssistemas, como neurônios e componentes de computador, até o de macrossistemas, como o metabolismo e o corpo humano.

Yaneer Bar-Yam (2003, p. 385) argumenta que a abordagem científica tradicional de estudar as propriedades específicas de sistemas de maneira isolada funcionou bem até meados do século XX. Contudo, com a CT, tornou-se claro que as partes individuais dos sistemas também podem ser estudadas em conjunto, o que oferece uma compreensão mais profunda dos diversos tipos de sistemas, sejam eles físicos, biológicos, sociais ou de engenharia. Bar-Yam (2003, p. 385) sugere que a visão reducionista, que foi central para o avanço da ciência e da tecnologia, deve ser substituída por princípios unificadores, fomentando sistemas complexos integrados pela NBIC. Como ilustra a máxima mencionada por Wallace, “se os cientistas cognitivos podem pensar sobre isso, as pessoas da nanotecnologia podem construí-lo, os especialistas em biotecnologia podem implementá-lo, e os profissionais de TI podem monitorá-lo e controlá-lo” (Wallace apud Roco e Bainbridge, 2003, p. 13).

Com efeito, Newt Gingrich (2003, p. 42) observa que vivemos em uma “era de transição”, caracterizada, em primeiro lugar, pela revolução computacional impulsionada pela Lei de Moore, e em segundo lugar, pelo aumento das interações entre as tecnologias NBIC. Kurzweil (2007, p. 34) acrescenta que o que distingue os seres humanos das demais espécies é sua capacidade de criar tecnologia. Para ele, a tecnologia é uma extensão do processo evolutivo e segue uma trajetória de aceleração. Esse fenômeno é explicado pela Lei dos Retornos

Acelerados, segundo a qual o intervalo de tempo entre eventos significativos se torna cada vez menor, à medida que a tecnologia avança. Uma analogia interessante pode ser traçada com a escala de tempo cósmica. O Universo surgiu há 14 bilhões de anos; galáxias e estrelas, como a Via Láctea e o Sol, formaram-se cerca de 7 a 8 bilhões de anos depois. A Terra se formou há 4 bilhões de anos, e as primeiras formas de vida apareceram há cerca de 3 bilhões de anos. Em comparação, os seres humanos anatomicamente modernos, segundo Robin Dunbar (2014, p. 14), surgiram há apenas 200 mil anos, espalhando-se pela Ásia, Europa e, por fim, pelas Américas. Transformações culturais significativas, no entanto, começaram há cerca de 11 mil anos apenas.

Para Kurzweil (2007, p. 61), a emergência da tecnologia representou um marco na evolução da inteligência, pois ofereceu à evolução novos meios para registrar seus avanços. A tecnologia, que surgiu como uma extensão da evolução biológica, está agora se acelerando, e eventos marcantes na transformação dos seres vivos e suas sociedades estão cada vez mais próximos. Nesse sentido, o avanço tecnológico poderia levar a uma era em que a própria tecnologia, e não os seres humanos, criará sua próxima geração.

Ben Goldacre (2012, p. 331) destaca essa rápida complexificação da tecnologia moderna. Há apenas 50 anos, uma pessoa comum poderia entender o funcionamento de um rádio AM e até construir um, usando um conhecimento básico de ciência. Hoje, entretanto, até mesmo um especialista teria dificuldade para explicar como funciona um smartphone moderno, tamanha é a sua complexidade. De acordo com Roco (2003, p. 83), no contexto da CT, o intercâmbio entre as áreas de NBIC abrirá novas possibilidades. Por exemplo, a nanotecnologia permitirá o estudo da nanoescala, as biociências ajudarão a decifrar o cérebro, e o conhecimento resultante retroalimentará o sistema, gerando novas tecnologias. Bainbridge (2006, p. 224) prevê que conceitos antes considerados surreais, como o aumento da memória, da cognição e da criatividade, se tornarão realidades tangíveis graças à CT.

Em suma, a CT propõe um novo Renascimento, onde as disciplinas de NBIC convergem em torno de uma capacidade comum de trabalhar em escalas atômicas e moleculares, utilizando princípios da biologia e da tecnologia da informação. Como Roco (2003, p. 93) ressalta, o reducionismo científico e tecnológico do passado está sendo substituído por uma confluência que poderia ser comparada a uma nova alquimia, onde a integração de diferentes áreas do saber possibilitaria avanços antes inimagináveis.



## AS POSSIBILIDADES DE INTERAÇÃO DE NBIC

Como discutido anteriormente, a nanotecnologia, biotecnologia, tecnologia da informação e ciências cognitivas constituem os pilares da Convergência Tecnológica (CT) no século XXI. Cada uma dessas áreas está associada a elementos fundamentais: átomos para a nanotecnologia, genes para a biotecnologia, bits para as tecnologias da informação e neurônios para as ciências cognitivas. A combinação entre esses blocos — átomos, genes, bits e neurônios — gera as megatendências que moldarão o futuro da humanidade à medida que a ciência e a tecnologia avançam. Nesse sentido, as interações entre as tecnologias NBIC podem ser categorizadas em quatro tipos: *fora do corpo e ambientais*, *fora do corpo e individuais*, *dentro do corpo e temporárias*, e *dentro do corpo e permanentes*.

As tecnologias *fora do corpo e ambientais* referem-se às inovações de NBIC relacionadas a materiais, espaços e agentes. No que tange aos materiais, Jim Spohrer (2003, p. 104) argumenta que no futuro próximo haverá uma transição significativa dos materiais tradicionais – como pedras, madeiras, tijolos, plásticos e borrachas – para materiais cromaticamente ativos, capazes de mudar de cor, e polimórficos, que podem alterar sua forma. Um exemplo intrigante desse futuro é a “névoa útil” (*utility fog*), na qual nanorrobôs invisíveis podem ser reconfigurados para criar objetos conforme necessário, permitindo a transformação de ambientes inteiros de maneira prática, flexível e portátil: a planta de uma casa poderia ser reconfigurada de acordo com as necessidades, e o chão nunca ficaria sujo, proporcionando uma sensação tátil de madeira ou borracha, conforme o desejo do usuário. Isso exemplifica o potencial disruptivo dessa tecnologia, que altera radicalmente a interação entre o ser humano e o espaço físico, criando ambientes completamente adaptáveis. Outro material com enorme potencial disruptivo é o grafeno. Esse retículo hexagonal de átomos de carbono é considerado o material mais forte, leve e fino já criado, com aplicações que vão desde a remoção de material radioativo de água contaminada até a reparação de fuselagens de aviões, carregamento de baterias de smartphones em segundos, aumento da velocidade da internet em até cem vezes, e desenvolvimento de próteses neurais e músculos artificiais.

Além disso, a evolução dos espaços virtuais e ciberespaços promete transformar a maneira como os seres humanos interagem entre si e com o ambiente. A trilogia *Neuromancer*, *Count Zero* e *Mona Lisa Overdrive*, de William Gibson, antecipa uma sociedade em que as realidades virtuais e os ciberespaços são centrais para as interações sociais e econômicas. Ian Pearson (2013, p. 58) prevê que, em breve, as pessoas poderão sobrepor ou substituir as imagens

do mundo real por visões geradas por computador, permitindo que cada indivíduo personalize o ambiente ao seu redor de acordo com suas preferências, como tornar as pessoas mais atraentes ou modificar a paisagem urbana com flora e fauna virtuais.

Os agentes que emergem desses novos espaços também refletem as inovações da CT, especialmente os avatares, que representam corpos digitais inteiramente virtuais, e os *bemes*, unidades de consciência replicadas no ciberespaço, conforme descrito por Martine Rothblatt (2016, p. 127). Esses agentes redefinem o conceito de identidade, sugerindo uma era de interação humano-digital em que os limites entre o mundo físico e o virtual se tornam cada vez mais tênues.

As *tecnologias fora do corpo e individuais* foram criadas pelos caçadores-coletores há milhares de gerações, como roupas e armas. Desde então, o desenvolvimento de tecnologias individuais evoluiu para incluir itens como pergaminhos, óculos, relógios e, mais recentemente, dispositivos como computadores, tablets e smartphones. Andy Clark (2003, p. 24) argumenta que as ferramentas mais poderosas do futuro serão aquelas que oferecem uma integração profunda com o ambiente e o corpo humano, sem a necessidade de implantes invasivos. Clark destaca uma característica peculiar do cérebro humano, o “oportunismo neural”, que permite a integração de componentes não biológicos à imagem corporal, criando uma simbiose biotecnológica. Isso explica por que ferramentas como bastões para deficientes visuais ou raquetes de tênis usadas por jogadores profissionais podem se tornar extensões do corpo e dos sentidos. Miguel Nicolelis (2011, p. 127) expande essa visão ao argumentar que o cérebro humano tem uma capacidade inata de incorporar ferramentas, transformando-as em parte do sistema neural do usuário.

As *tecnologias dentro do corpo e temporárias* referem-se principalmente aos avanços farmacológicos habilitados pela CT, especialmente novos medicamentos e pílulas. Spohrer (2003, p. 107) especula sobre o desenvolvimento de drogas que poderiam aumentar a cognição humana, como as já chamadas “pílulas da inteligência”, capazes de melhorar o desempenho cognitivo e facilitar o aprendizado de habilidades complexas, como o jogo de xadrez. Essas pílulas têm atraído interesse, especialmente entre aqueles que buscam formas rápidas e indolores de aumentar suas capacidades intelectuais para competir em exames e concursos. Laurent Alexandre (2018, p. 106-107) prevê que a farmacologia personalizada, possibilitada pela genômica, revolucionará os tratamentos médicos, permitindo que os medicamentos sejam adaptados ao perfil genético de cada paciente. Combinando grandes bases de dados com o

estudo genético detalhado, será possível criar tratamentos sob medida, maximizando a eficácia e minimizando os efeitos colaterais.

As tecnologias *dentro do corpo e permanentes* são as mais avançadas no espectro da CT, envolvendo a modificação profunda do ser humano. Spohrer (2003, p. 112) sugere que essas tecnologias levarão ao surgimento de novos órgãos, sentidos e genes para o *Homo sapiens*. Hans Moravec, Nick Bostrom e Ray Kurzweil, expoentes do transumanismo, especulam sobre a possibilidade de *upload* da mente humana para computadores, enquanto Donna Haraway explora a fusão entre humanos e máquinas. Essas ideias representam o auge da CT, onde a biologia e a tecnologia se fundem para criar uma nova forma de existência humana. Essas perspectivas otimistas, no entanto, encontram resistência de pensadores como Jürgen Habermas e Francis Fukuyama, que expressam preocupações éticas sobre os impactos dessa evolução na natureza humana. Os bioconservadores alertam que a CT pode comprometer valores humanistas fundamentais, e que suas promessas de aprimoramento humano não são isentas de riscos.

## CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA E SAÚDE: DESAFIOS BIOÉTICOS EM UM CONTEXTO DE TRANSFORMAÇÃO

A Convergência Tecnológica tem moldado o século XXI de maneira sem precedentes. Essas tecnologias promissoras oferecem um grande potencial para melhorar a qualidade de vida, prolongar a expectativa de vida e transformar a forma como enfrentamos desafios globais de saúde. No entanto, também levantam questões éticas complexas, principalmente quando observadas sob o prisma de um mundo em crise — tanto no sentido de crises ambientais, sanitárias e econômicas, quanto na crise de valores éticos e humanos.

Como discutido, as tecnologias NBIC estão revolucionando tanto a maneira como diagnosticamos e tratamos doenças quanto a forma como compreendemos a saúde humana em um contexto mais amplo. A biotecnologia, por exemplo, tem permitido avanços significativos em áreas como a engenharia genética, a criação de terapias personalizadas e o uso de células-tronco. Por outro lado, a IA tem sido fundamental para o desenvolvimento de novas ferramentas de diagnóstico e tratamento, além de viabilizar a gestão de enormes quantidades de dados médicos de forma precisa e rápida.

No entanto, à medida que essas tecnologias se tornam mais presentes e influentes na saúde global, emergem questões críticas que exigem um diálogo bioético profundo e plural. Um dos principais desafios é a justiça distributiva: o acesso a tratamentos e tecnologias de ponta

não é equitativo, e há o risco de que essas inovações ampliem ainda mais as desigualdades já existentes, tanto entre nações quanto dentro delas. Em um mundo em crise, onde pandemias, desastres naturais e crises econômicas pressionam os sistemas de saúde, a aplicação dessas tecnologias de forma justa e equitativa torna-se um imperativo ético. A quem se destinam essas inovações? Quem pode pagar por elas? E como garantir que os benefícios das biotecnologias e da IA não estejam restritos a um pequeno grupo privilegiado? Emprestando uma expressão romana, *cui bono?*, isto é, a quem interessam as tecnologias NBIC? Ao médico ou ao paciente? Ao hospital ou às empresas de Big Tech? À sociedade ou a grupos de acionistas?

Nada obstante, com o uso crescente da IA para analisar dados de saúde, há preocupações sobre a privacidade dos pacientes. A coleta e o uso de dados genéticos, biométricos e médicos suscitam debates sobre quem tem o direito de acessar essas informações e como elas serão usadas. O aumento da vigilância biométrica, impulsionado por tecnologias de IA, pode gerar cenários distópicos, onde os indivíduos perdem o controle sobre suas próprias informações pessoais. Em tempos de crise, a tentação de justificar o uso de tais tecnologias para fins de controle social podem ser forte.

Além disso, a manipulação genética, uma das áreas mais avançadas da biotecnologia, levanta questões morais sobre os limites da intervenção humana na vida. A capacidade de editar o genoma humano, especialmente em embriões, pode trazer benefícios significativos, como a prevenção de doenças hereditárias. No entanto, também pode levar à criação de um novo tipo de eugenia, onde a pressão por "aperfeiçoamentos" genéticos se torna uma norma social. Esse cenário não apenas ameaça a dignidade humana, como também pode exacerbar desigualdades, criando uma divisão entre aqueles que podem pagar por melhorias genéticas e aqueles que não podem.

A inteligência artificial, em conjunto com a biotecnologia, também abre novas questões no campo da responsabilidade ética. Se algoritmos de IA são usados para diagnosticar e tratar doenças, quem é responsável por possíveis erros? A IA, quando aplicada em contextos de saúde, não deve substituir o julgamento humano, mas complementar o conhecimento clínico, sempre garantindo que as decisões sejam tomadas sem que se terceirize o pensamento à IA, este, aliás, um dos grandes riscos sociais, isto é, o risco de termos uma humanidade que não pense, em que a dependência tecnológica gere pessoas incapazes de reflexão e autonomia.

Para enfrentar esses desafios, o conceito de governança antecipatória de tecnologias emergentes, proposto pela OECD (2024), destaca a importância de ancorar o desenvolvimento tecnológico em valores fundamentais como a privacidade, a inclusão e a sustentabilidade. A

aplicação desses valores desde as fases iniciais da inovação pode ajudar a mitigar os impactos negativos dessas tecnologias, promovendo um avanço responsável e justo no setor da saúde. De acordo com o framework de governança antecipatória da OECD (2024), o engajamento de pacientes, profissionais de saúde e da sociedade civil no desenvolvimento dessas tecnologias é essencial para garantir que elas respondam de maneira ética às necessidades sociais. Processos deliberativos que facilitem o diálogo entre diferentes grupos, aliados a ferramentas de participação cidadã, podem antecipar conflitos de valor e promover decisões mais inclusivas e alinhadas com princípios bioéticos como a equidade e a dignidade humana.

Por fim, é necessário que os governos adotem uma regulação ágil para essas tecnologias emergentes, especialmente no campo da saúde, onde os riscos associados a uma inovação não controlada são elevados. A OECD (2024) propõe o uso de ferramentas como *regulatory sandboxes* e padrões técnicos colaborativos, que permitem testar novas tecnologias em ambientes controlados, assegurando a segurança dos pacientes sem inibir a inovação. A cooperação internacional também desempenha um papel importante nesse cenário, garantindo a harmonização de normas globais e facilitando o avanço tecnológico de forma ética e responsável.

Em última análise, a Convergência Tecnológica pode oferecer um futuro promissor, mas também nos desafia a repensar nossa responsabilidade enquanto criadores e usuários dessas tecnologias. A reflexão bioética deve guiar as decisões sobre o uso de NBIC na saúde, especialmente em tempos de crise global, para que possamos garantir que os benefícios dessas inovações sejam compartilhados de forma justa e equitativa, e que não percamos de vista nossa humanidade no processo.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Laurent. **A morte da morte: como a medicina biotecnológica vai transformar profundamente a humanidade**. Tradução Maria Idalina Lopes Ferreira. Barueri: Manole, 2018.

BAR-YAM, Yaneer. Unifying Principles in Complex Systems. In: ROCO, Mihail C.; BAINBRIDGE, William S. (Org.). **Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science**. Dordrecht, 2003.

CAVALHEIRO, Esper A. A nova convergência da ciência e da tecnologia. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000200004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000200004). Acesso em 21 Out. 2024.

CLARK, Andy. **Natural-born cyborgs: Minds, technologies, and the future of human intelligence**. New York: Oxford University Press, 2003.

GOLDACRE, Ben. **Ciência picareta**. Tradução Renato Rezende. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2013.

GINGRICH, Newt. Vision for the Converging Technologies. In: ROCO, Mihail C.; BAINBRIDGE, William S. (Org.) **Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science**. Dordrecht, 2003.

KURZWEIL, Ray. **A Era das Máquinas Espirituais**. Tradução Fábio Fernandes. São Paulo: Aleph, 2007.

MARQUEZ, Gabriel García. **Cem anos de solidão**. Tradução Eric Nepomuceno. 91ª ed. Rio de Janeiro: Record, 2015.

NICOLELIS, Miguel. **Muito além do nosso eu: a nova neurociência que une cérebros e máquinas – e como ela pode mudar nossas vidas**. Tradução do autor. Revisão Giselda Laporta Nicolelis. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

NORDMANN, Alfred. **Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies**. European Commission Research, 2004.

OECD. **Framework for Anticipatory Governance of Emerging Technologies**. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 165. Paris: OECD Publishing, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/0248ead5-en>. Acesso em: 29 out. 2024.

PEARSON, Ian. **You Tomorrow: The future of humanity, gender, your everyday life, your career, your belongings and your surroundings**. 2ª ed. Self published: Wroclaw, 2013.

ROCO, Mihail C.; BAINBRIDGE, William S. **Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science**. Dordrecht, 2003.

ROTHBLATT, Martine. **Virtualmente humanos: as promessas: e os perigos: da imortalidade digital**. Tradução Jeferson Luiz Camargo. São Paulo: Cultrix, 2016.

SPOHRER, Jim. Advances in Converging Technologies. Em: ROCO, Mihail C.; BAINBRIDGE, William S. (Org.) **Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society**. Dordrecht, 2003.

WILSON. Edward O. **A conquista social da Terra**. Tradução Ivo Korytovski. 1ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.