

Implicações da obsolescência dos seres humanos modificados geneticamente em virtude dos avanços tecnológicos da edição genética

Implications of the obsolescence of genetically modified human beings due to technological advances in the field of genetic editing

Implicaciones de la obsolescencia de los seres humanos genéticamente modificados debido a los avances tecnológicos en el campo de la edición genética

Mônica Aguiar¹

Rafael Verdival²

Resumo

Objetivo: analisar, sob uma perspectiva bioética, como a utilização da edição genética, uma vez incorporada à prática médica, poderá causar obsolescência genética aos seres humanos modificados e quais seriam as implicações para o indivíduo obsoleto, bem como os reflexos dessa problemática no direito à saúde. **Metodologia:** foi aplicado o método hipotético-dedutivo com abordagem qualitativa, tendo como fundamento trabalhos científicos das áreas de genética e bioética publicados em periódicos nacionais e internacionais. **Resultado:** o surgimento de nova tecnologia de edição genética denominada sistema CRISPR-Cas representa grande avanço científico, uma vez que se trata de instrumento mais acessível e eficiente na edição genética. As modificações genéticas em seres humanos voltadas não apenas para a terapêutica, mas também para o melhoramento do próprio genoma, tornam-se possíveis e, com o surgimento de pessoas com aperfeiçoamento genético no futuro, vem à tona o dilema ético da obsolescência desses indivíduos, bem como possíveis implicações na seara jurídica advindas de melhoramentos genéticos. **Conclusão:** a edição genética voltada para o aperfeiçoamento poderá causar obsolescência dos seres humanos em determinadas searas, incluindo o aprofundamento de iniquidades em questões de saúde. Essa obsolescência guarda aproximação com a ideia habermasiana da indistinção entre pessoas e produtos e pode causar profunda angústia existencial àqueles indivíduos modificados geneticamente quando essas modificações se tornarem ultrapassadas.

Palavras-chave: Edição genética. Sistemas CRISPR-Cas. Melhoramento genético.

Abstract

Objective: to analyze, from a bioethical perspective, how the use of genetic editing, once incorporated into medical practice, may cause genetic obsolescence to modified human beings and what would be the implications for the obsolete individual, as well as the reflections of this problem to the right to healthcare. **Methodology:** hypothetical-deductive method, based on scientific works in the areas of genetics and bioethics published in national and international journals. **Result:** the emergence of new genetic editing technology called the CRISPR-Cas system represents a major scientific advance, since it is a more accessible and efficient instrument in genetic editing. Genetic modifications in human beings focus not

¹ Doutora em Direito, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, Brasil. Professora, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-4555-423X>. E-mail: monicaaguiarpsi@gmail.com

² Mestrando em Direito, Universidade Católica do Salvador, Salvador, Bahia, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-8393-5618>. E-mail: rafaelverdival@gmail.com

only therapeutics, but also on improving the genome itself. With the emergence of people with genetic improvement in the future, the ethical dilemma of the obsolescence of these individuals comes to the fore, as well as possible implications in the legal field arising from genetic improvements. **Conclusion:** genetic edition aimed at improvement may cause human obsolescence in certain fields, including the deepening of inequities in health issues. This obsolescence is close to the Habermasian idea of indistinction between people and products and can cause deep existential anguish to those genetically modified individuals when these changes become outdated.

Keywords: Gene editing. CRISPR-Cas systems. Genetic enhancement.

Resumen

Objetivo: analizar, desde una perspectiva bioética, cómo el uso de la edición genética, una vez incorporada a la práctica médica, puede ocasionar la obsolescencia genética de seres humanos modificados y cuáles serían las implicaciones para el individuo obsoleto, así como las reflexiones de esta problemática sobre el derecho a la salud. **Metodología:** se aplicó el método hipotético-deductivo con enfoque cualitativo, basado en trabajos científicos en las áreas de genética y bioética publicados en revistas nacionales e internacionales. **Resultado:** la aparición de una nueva tecnología de edición genética denominada sistema CRISPR-Cas representa un gran avance científico, ya que es un instrumento más accesible y eficiente en la edición genética. Las modificaciones genéticas en los seres humanos centradas no solo en la terapia, sino también en la mejora del genoma en sí, se hacen posibles y, con la aparición de personas con mejora genética en el futuro, el dilema ético de la obsolescencia de estos individuos pasa a primer plano, así como las posibles implicaciones en el ámbito jurídico derivadas de las mejoras genéticas. **Conclusión:** la edición genética orientada a la mejora puede provocar la obsolescencia humana en determinados campos, incluida la profundización de las inequidades en materia de salud. Esta obsolescencia se acerca a la idea habermasiana de indistinción entre personas y productos y puede causar una profunda angustia existencial en aquellos individuos genéticamente modificados cuando estos cambios se vuelven obsoletos.

Palabras clave: Edición genética. Sistemas CRISPR-Cas. Mejoramiento genético.

Introdução

Manipular e modificar genes para moldar características de seres vivos é possível. Com o desenvolvimento cada vez mais veloz da tecnologia, que viabiliza a criação de instrumentos mais precisos e eficientes, a edição genética deixa a esfera da utopia e adentra a realidade prática. Essa realidade, por sua vez, ganha os holofotes ao alcançar um ponto peculiar – a genética humana – e o debate bioético acerca das implicações da edição genética passa a ocupar relevante espaço em periódicos científicos e mídia.

Apesar de aparentar ser tecnologia recente, diversas técnicas voltadas à edição genética vêm sendo utilizadas desde a década de 1990. Conforme ensina Rafael Furtado (1), para compreender o funcionamento desse processo deve-se considerar que a edição de genes de um ser vivo ocorre em duas etapas principais. A primeira é a clivagem, que consiste

no reconhecimento e na divisão da molécula de ácido desoxirribonucleico – o DNA. A segunda é a regeneração dessa molécula – ou reparo. Essas etapas são realizadas por meio de ferramentas de edição baseadas em enzimas modificadas pela ação humana, de maneira que essas enzimas conseguem cortar partes predeterminadas da molécula de DNA escolhida.

Porém, muitos desses sistemas utilizados para a edição genética são demasiadamente complexos e de difícil utilização, o que acaba diminuindo a eficiência do procedimento. Embora sejam ferramentas funcionais, são difíceis de se elaborar e de se obter, além de terem eficiência apenas relativa. Entretanto, o surgimento de um novo sistema tornou tudo mais simples: trata-se do CRISPR-Cas. Essa nova ferramenta se mostra atrativa, já que pode ser utilizada em diversas aplicações, acarretando baixo custo e muita eficiência. Por conta dessas características, vem sendo considerado como alternativa viável por vários laboratórios em todo mundo (2).

A edição genética ocorre através do corte do DNA cromossômico em posições concretas bem especificadas. Quando esse corte é feito, a própria célula utiliza diversos mecanismos de reparação de DNA para se regenerar. Ocorre que a regeneração é altamente mutagênica e, durante o processo, os nucleotídeos são deletados, o que frequentemente implica na perda de informação genética. Porém, com o CRISPR-Cas, torna-se possível a reparação celular mais conservativa, promovendo recombinações genéticas com a substituição de determinada sequência de DNA por outra ou introduzindo novas variantes genéticas. As modificações que podem ser feitas por meio desse sistema permitem correções de mutações genéticas, além da inserção de novos genes, troca de bases concretas e silenciamento ou ativação de informação genética. Por conta disso, é fácil afirmar que o leque de possibilidades no campo da edição genética é *inimaginável* (2).

A tecnologia CRISPR-Cas representa um novo capítulo na recente história da edição genética, que, por sua vez, apresenta um novo protagonista: o ser humano. O nascimento das primeiras pessoas editadas geneticamente acalorou a discussão bioética sobre o uso dessa tecnologia e já teve consequências para o mundo jurídico (3). Percebe-se que o pontapé inicial foi dado e que a pesquisa sobre engenharia genética foi acelerada (4). Somente em 2018, mais de 5.000 publicações científicas mencionaram o sistema CRISPR-Cas (5).

Como é comum às tecnologias, a edição genética tende a se aperfeiçoar cada vez mais rápido. Os problemas bioéticos, antes teorizados, passam a se concretizar com o passar dos anos, ensejando maior engajamento no desenvolvimento de uma bioética apta a lidar com novos problemas de novos seres humanos. O filósofo australiano Robert Sparrow, considerando que esses avanços tecnológicos no âmbito da genética ocorrerão velozmente, formulou a hipótese de que o rápido progresso poderá trazer consigo a obsolescência dos indivíduos modificados (6).

Com base nisso, este artigo pretende discutir, sob uma perspectiva bioética, como a utilização da edição genética, uma vez incorporada à prática médica, poderá causar obsolescência genética aos seres humanos modificados e quais seriam as implicações para o indivíduo obsoleto, bem como os reflexos dessa problemática no âmbito do direito à saúde.

Tal estudo é relevante, pois a edição genética é uma realidade que transforma não apenas a constituição biológica dos seres humanos, mas também a existencial – o que leva ao enfrentamento de complexos dilemas bioéticos. É preciso considerar cenários de grande desenvolvimento médico-tecnológico, a fim de realizar reflexões bioéticas prévias e introdutórias que antecipem problemas futuros e auxiliem na sua resolução.

Não obstante o caráter bioético da reflexão, este trabalho tem singular relevância no âmbito do direito à saúde, uma vez que a prática de edição genética tem o condão de interferir tanto na esfera física do indivíduo, quanto na subjetiva – trazendo problemáticas sérias como a obsolescência.

Metodologia

A pesquisa utilizou o método hipotético-dedutivo, fundamentado no pensamento de Karl Popper, em especial nas obras *A lógica da pesquisa científica* (7) e *A lógica das ciências sociais* (8). De acordo com as ideias de Popper, primeiro se estabeleceu uma hipótese – a possibilidade da edição genética tornar os seres humanos obsoletos -, em seguida se realizou a verificação dessa hipótese.

Para tanto, o presente trabalho adotou uma abordagem qualitativa, tendo como fundamento a revisão bibliográfica de trabalhos científicos atualizados das áreas de genética e bioética publicados em periódicos nacionais e internacionais, tomando como referência autores qualificados como Robert Sparrow (6), Gemma Marfany (2) e Ana Thereza Meirelles (9) Além disso, inclui em sua bibliografia pensadores de renome, como Jurgen Habermas

(10) e Michael Sandel (11). A escolha metodológica justifica-se porque permite formar uma base teórica – fundada em estudos atualizados – sobre edição genética e seus desdobramentos bioéticos.

O texto inicia refletindo sobre as justificativas utilizadas para se aplicar a edição genética em seres humanos, destacando-se a terapia gênica e o aperfeiçoamento genético. Em seguida, analisa a possibilidade de obsolescência humana provocada pela edição genética voltada ao melhoramento, conforme problematiza Robert Sparrow. Por fim, delibera sobre as implicações dessa obsolescência para os seres humanos e suas consequências no âmbito do direito à saúde.

Conclui que, com os constantes avanços tecnológicos no âmbito da edição genética, é razoável pensar que os seres humanos poderão se tornar obsoletos. Com isso, vem à tona uma problemática existencial, visualizada pelo processo de fracasso humano e sentimento de constante angústia; e uma problemática sanitária, que traz desafios à efetivação do direito à saúde, assim entendido como elemento materializador da saúde física e mental.

Edição genética em seres humanos: qual a razão?

A edição genética em pessoas traz à tona vasto leque de possibilidades ao desenvolvimento da espécie humana e duas possibilidades se destacam: a utilização de edição genética para tratamento de doenças e para aperfeiçoamento de genes.

A prevenção ou tratamento de doenças genéticas, causadas pela mutação em determinada sequência de DNA, é um dos objetivos mais claros da engenharia genética. Tanto doenças hereditárias minoritárias quanto genéricas – sobrevindas de mutação – podem ser objeto de edição genética. Essa vasta aplicabilidade gera grande impacto sanitário e social, tendo em vista a considerável incidência dessas doenças. O desenvolvimento de pesquisas nessa área pode representar grandes avanços também no campo do direito sanitário, na medida em que o surgimento de novas modalidades terapêuticas influencia diretamente na saúde das pessoas.

Conforme demonstra Rafael Furtado, o aperfeiçoamento da terapêutica é um dos benefícios da edição para tratamento de doenças genéticas e celulares (1). Estudos confirmam que os avanços da edição genética beneficiariam áreas como a infectologia, oncologia, hematologia, neurologia, transplante de órgãos (12) (13) (14) (15) (16) (17). Sua aptidão terapêutica representa melhoramento intrínseco à espécie humana, iniciando-se

nesta geração, mas se estendendo às próximas. Portanto, é possível dizer que a edição genética tem dupla função, vez que, além de tratar pessoas com doenças genéticas em curso, funciona preventivamente.

De acordo com Marc Güell (4), novas metodologias voltadas à reparação e melhoramento genético, inclusive para atacar o câncer, já vêm sendo desenvolvidas. O estudo de melhoramentos genéticos terapêuticos, pela edição de genes humanos, também já é uma realidade. É notória a intenção da engenharia genética em proporcionar à espécie humana o próximo passo na área de saúde, resultando na materialização desse fundamental direito.

O tratamento de enfermidades causadas pela mutação de uma sequência de DNA representa aplicação evidente da edição genética. Seria possível traçar estratégias para curar doenças hereditárias graves como hemofilia³, doença de Duchenne⁴ e fibrose cística⁵. Além disso, abarcaria também doenças genéticas decorrentes de mutação somática – que são mutações sofridas supervenientemente nas células – como o câncer. A terapêutica se daria pela recuperação do material genético original ou pela correção da mutação. Em todo caso, o resultado seria a eliminação da base molecular da doença (2).

A aplicação terapêutica da edição genética não é um passo apenas inovador, mas necessário. A grande maioria das doenças genéticas hereditárias não tem tratamento efetivo que resulte em cura e a incidência dessas enfermidades é relevante, tendo em vista que, consideradas conjuntamente, tais patologias atingem entre 6% a 8% da população. Além da questão sanitária envolvida, o impacto social dessas doenças é elevado (2), logo, o surgimento de uma tecnologia capaz de tratar tais doenças é imprescindível para melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Entretanto, é preciso ter em mente que a edição genética é plural. Por conta dessa amplitude prática, tem-se discutido acerca de aplicações para além da terapêutica, vindo à tona o debate acerca do chamado *melhoramento genético*, ou *enhancement*.

³ A hemofilia é um distúrbio genético e hereditário que afeta a coagulação do sangue, o que faz as pessoas portadoras dessa doença sangrarem mais do que o normal (18).

⁴ A doença de Duchenne é um tipo de distrofia muscular, entendida como uma série de desordens caracterizadas pela fraqueza e atrofia muscular, de origem genética, que ocorre pela ausência ou formação inadequada de proteínas essenciais para o funcionamento da fisiologia da célula muscular, cuja característica principal é o enfraquecimento progressivo da musculatura esquelética, prejudicando os movimentos (19).

⁵ Doença genética crônica que afeta principalmente os pulmões, pâncreas e o sistema digestivo. Um gene defeituoso e a proteína produzida por ele fazem com que o corpo produza muco de 30 a 60 vezes mais espesso que o usual, o que leva a infecções, inchaços e inflamações (20).

A história da humanidade mostra que a espécie humana vem constantemente buscando maneiras de se melhorar geneticamente. Muitas vezes essas tentativas ocorreram de forma controversa – como se verifica nos postulados eugênicos de Francis Galton – ou de forma absurda e bárbara, como a inferiorização e eliminação de raças pelo regime nazista. Por conta disso, passou-se a rejeitar radicalmente a melhora genética da espécie humana (21).

Com o advento da tecnologia CRISPR-Cas, o debate sobre melhoramento genético ressurgiu com força. Porém, a discussão agora ganha contornos objetivos, porque a possibilidade de melhora genética da espécie humana é uma realidade plausível a médio prazo (22). Mas em que consiste esse melhoramento?

Modificações genéticas que amplifiquem condições naturais seriam aperfeiçoamentos da espécie. Mudanças na capacidade do corpo humano em resistir a doenças, e a própria cura eficaz de enfermidades, implicariam em um ser humano biologicamente diferente. Esse tipo de aplicação, justamente por seu caráter terapêutico, tende a ser eticamente mais legítimo. Entretanto, o debate acerca da eticidade da conduta se aprofunda quando os *melhoramentos* propostos ultrapassam a saúde.

O conjunto de benefícios de natureza médica que o acesso ao conteúdo do DNA enseja é inegável. Paralelamente, tem-se o medo decorrente da ascensão de fatos desconhecidos (9), que se manifestam a partir do melhoramento genético não terapêutico. Tal procedimento é compreendido como a inserção de modificações genéticas a fim de se obter resultado fenotípico específico, como características físicas, intelectuais ou até mesmo de comportamento que, *a priori*, teriam maior atratividade do que os aspectos genéticos hereditários do indivíduo (2).

A grande questão está no limiar estreito entre o uso da edição de genes para fins terapêuticos e aperfeiçoadores. Ana Thereza Meirelles Araújo (9) aborda essa sutil diferenciação no uso da edição genética e destaca que a linha tênue entre as possíveis motivações da conduta evidencia a complexidade da discussão. O motivo disso está, inicialmente, na identificação do que é uma conduta terapêutica em si (9). A própria ideia de melhoramento está atrelada, como destaca Habermas (10), a um aperfeiçoamento pautado em uma lógica mercadológica e, analisando sob essa perspectiva, Araújo ressalta que tal lógica se concretiza por meio do “atendimento às demandas individuais que evidenciam preferências e preterições” (9).

Michael Sandel, em sua obra *Contra a perfeição: ética na era da engenharia genética*, realiza importante reflexão crítica acerca da manipulação genética do ser humano, apontando os prós e os contras desse tipo de modificação. Sandel ressalva que o desenvolvimento da edição genética, apesar de despontar como importante ferramenta de tratamento e prevenção de diversas doenças, pode viabilizar a manipulação da própria natureza humana (11). É notória, então, a preocupação que decorre da edição genética em relação aos aspectos fundamentais do ser humano e à própria ideia de aperfeiçoamento.

A ideia de melhoramento, principalmente associada a uma lógica mercadológica, demanda reflexão acerca da coisificação do ser humano como produto de um desenvolvimento tecnológico. Isso significa que, à medida em que a tecnologia de edição genética se desenvolve, impulsionada pela revolução do CRISPR-Cas, sua velocidade e eficácia aumenta. Portanto, os avanços científicos da edição genética podem ocasionar diferentes tipos de aperfeiçoamento genético em um curto espaço de tempo e seres humanos nasceriam com características cada vez mais avançadas em um curto período. Mais do que um pensamento mirabolante, trata-se de uma projeção futura plausível.

Melhoramento humano através da edição genética: pessoas podem se tornar obsoletas?

A prática de edição genética plenamente segura e utilizável ainda permanece distante da atual tecnologia. Porém, a obsolescência de seres humanos acontece independentemente da manipulação genética, seja por razões sociais, laborativas ou técnicas. Sendo assim, é razoável considerar que pessoas podem se tornar obsoletas por causa da superação tecnológica de genes editados.

É preciso considerar que o aperfeiçoamento de uma tecnologia é inerente ao seu processo de desenvolvimento. Tecnologias surgem com limitações e vão sendo trabalhadas até que os problemas sejam superados. Thomas Kuhn, ao tratar das revoluções científicas, aponta como sendo um dos focos da *ciência normal* o trabalho empírico desenvolvido para articular a teoria do paradigma. Em outras palavras, trata-se do desenvolvimento científico voltado à solução de problemas originados do paradigma, mas ainda não enfrentados (23). Se a ciência é movida pelo progresso, por que seria diferente com a edição genética?

Analisando os saltos tecnológicos dados, torna-se possível considerar que os sistemas de edição genética serão aperfeiçoados continuamente em curtos espaços de

tempo. Com base nisso, Robert Sparrow, professor de filosofia da *Monash University*, levantou a seguinte hipótese: o progresso veloz da tecnologia de edição genética acarretará a obsolescência das pessoas modificadas (6).

Inicialmente, é importante ressaltar que o melhoramento genético de seres humanos – *enhancement* – permanece sendo um projeto hipotético. Entretanto, não obstante o necessário progresso da ciência no âmbito genético e molecular, além do surgimento de novos instrumentos de intervenção, não se pode descartar a possibilidade desses avanços serem alcançados nas próximas décadas. Discutir agora as implicações éticas de tecnologias futuras se mostra uma medida preventiva relevante ao enfrentamento de problemas iminentes.

O termo *obsoleto*, de acordo com o *Oxford English Dictionary* (24), significa não ser mais produzido ou utilizado, ou estar desatualizado. Logo, é possível dizer que algo se torna obsoleto a partir do momento em que se torna antiquado, tendo em vista o surgimento de outro elemento semelhante, porém hodierno – atual, moderno.

Coisas se tornam obsoletas em virtude do progresso. O avanço da tecnologia viabiliza o surgimento de novos elementos que não apenas substituem elementos antigos, mas acrescentam novas características. Vale dizer que a coisa que se torna obsoleta, um dia foi considerada boa, até ser superada. A abordagem da obsolescência no âmbito genético, portanto, implica a existência de genes que um dia foram considerados bons, mas no presente são piores do que novos genes disponíveis.

A obsolescência pode transcender o aspecto material e atingir o humano. Ao envelhecer, o indivíduo deixa de ser capaz de fazer coisas que antes fazia com aptidão enquanto mais jovem. Além disso, pessoas mais jovens tendem a ter maior facilidade no trato de aparatos tecnológicos do que pessoas mais velhas (6). Portanto, o ser obsoleto é algo também aplicável aos seres humanos. Outro exemplo são os profissionais, alheios ao uso de computadores, que acabam se tornando obsoletos em relação àqueles que têm domínio das máquinas; e pessoas mais escolarizadas, em geral, têm mais chances de trabalho do que pessoas com menor grau de estudo (25). É notório, nesses exemplos, o papel da desigualdade social como geradora de obsolescência entre pessoas. Pessoas com privilégios sociais naturalmente têm mais acesso a determinados conhecimentos, já que podem arcar com os custos dessa acessibilidade. Conseqüentemente, pessoas que não tiveram acesso aos mesmos meios de ascensão social acabam se tornando obsoletos em

determinada medida, já que são preteridos por indivíduos que tiveram a chance de desenvolver certas aptidões. Além disso, seres humanos se tornam obsoletos em determinadas funções por conta da sua substituição por máquinas ou inteligência artificial. É o caso da substituição de agentes bancários por aplicativos ou caixas eletrônicos multifuncionais.

O que se pretende argumentar é que é possível que indivíduos sejam considerados obsoletos e que essa característica advém de elementos sociais, culturais e tecnológicos. Indo além, ressalta-se o pensamento de Jürgen Habermas, que adverte que o melhoramento genético de seres humanos pode tornar vaga a diferenciação entre pessoas e produtos (10). A desconsideração do fator humanidade e a aproximação entre pessoas e produtos se mostra fator de risco à incidência da obsolescência genética dos indivíduos.

A ocorrência de obsolescência humana perante o avanço da edição genética, entretanto, não é unanimidade. Audrey Chapman, professora da *Community Medicine and Healthcare* e *UConn School of Medicine*, considera que há muitos problemas com a hipótese de Sparrow. Para Chapman, é improvável que o melhoramento genético humano, nos termos apresentados por Sparrow, seja factível (26). Defende a autora que a complexidade dos melhoramentos que podem ser almejados pelas pessoas é alta, já que muitas vezes as características preteridas envolveriam a manipulação de múltiplos genes simultaneamente – sem considerar a interferência do ambiente no resultado final e o atual estágio de desenvolvimento tecnológico (26).

Ainda, Chapman aponta como principal problema da hipótese de Sparrow o determinismo genético implícito, pois o ser humano não se resume aos seus genes (26). A influência genética, segundo a professora, contribui consideravelmente em alguns aspectos, em especial aspectos físicos como a cor do cabelo ou dos olhos. Porém, o ambiente – seja físico, cultural ou social e, incluindo a criação dada pelos pais e a educação recebida pelo indivíduo – interfere significativamente nas questões físicas e comportamentais dos seres humanos, além de ter papel relevante na formação da personalidade e no processo de tomada de decisões (26).

Em síntese didática, Audrey Chapman compreende que o ser humano vai além da sua expressão meramente genética e que as características de um indivíduo são oriundas de um complexo conjunto de fatores que transcendem os genes. Conclui afirmando que as pessoas, não os genes, é que determinam as ações e, por isso, seria errado os pais

classificarem suas crianças com base meramente na hereditariedade genética. Também seria equivocada as crianças abraçarem um juízo de valor próprio, determinado apenas pelo seu nascimento (26).

O posicionamento de Chapman, embora bastante adequado para se discutir sobre a legitimidade dos melhoramentos genéticos, não parece suficiente para afastar a hipótese da obsolescência de pessoas modificadas geneticamente. O argumento pautado no atual estágio da tecnologia CRISPR-Cas não se aplica, pois, a discussão da obsolescência parte do pressuposto de que, em algumas décadas, o progresso científico terá avançado a ponto de tornar a edição genética segura e controlada. O desenvolvimento da ciência não é meramente teórico e o próprio acesso ao genoma comprova isso.

Comparativamente, em 1946, quando o primeiro computador digital eletrônico – *Electronic Numerical Integrator And Computer* (ENIAC) – foi criado, seria hipotético conceber a criação de aparelhos como os atuais *smartphones*: dispositivos com gigantesca funcionalidade e pequeno porte. Em 1995, o astrônomo Clifford Stoll publicou um artigo (27) no qual defendia que a *internet* e ferramentas como *e-books*, jornais eletrônicos e banco de dados não dariam certo. Entretanto, a realidade atual mostra que o mundo se transforma e que, quando se fala em avanços tecnológicos, nada pode ser negligenciado. A edição genética para melhoramento humano trata-se muito mais de *quando* do que de *se*.

Outro ponto a ser considerado diz respeito à influência do ambiente na formação do ser humano. Chapman logra êxito ao afirmar que o ser humano não se restringe aos seus genes e a própria manifestação fenotípica depende não apenas dos genes, mas do ambiente (26). Entretanto, a multiplicidade de fatores não afasta a relevância que a genética tem para o desenvolvimento ou inibição de características humanas. O próprio uso terapêutico da edição genética, permitindo a prevenção de doenças de natureza genética, já representa uma diferenciação marcante em qualquer ambiente. Trata-se de um indivíduo com maior imunidade, o que beneficia sua saúde.

A incidência da obsolescência no contexto humano é possível e real, porém, não é razoável afirmar que o melhoramento genético acarretará a obsolescência completa de um indivíduo, já que as pessoas podem se tornar obsoletas sob diferentes perspectivas. A noção de aperfeiçoamento remete a pontos específicos que podem ser melhorados, por exemplo, modificações para se ter mais resistência a doenças, mais força física, para precisar menos tempo de descanso ou para ter maior capacidade de raciocínio. O ser humano é complexo,

seja na configuração do seu genoma, seja em suas relações com outros e com o ambiente, sendo plausível que uma pessoa se torne obsoleta em virtude de determinada modificação genética, mas em outra não.

A obsolescência de genoma humano completo implicaria seleção integral de cada uma das incontáveis características que formam um ser, o que se torna ainda mais difícil de conceber quando se leva em conta a complexa natureza poligênica de determinados fenótipos – como inteligência e criatividade (26). Além disso, para que houvesse obsolescência completa do genoma, seria necessário a integral edição genética de todos os genes de ao menos dois indivíduos: o primeiro seria modificado previamente, enquanto o segundo deveria ser modificado pouco tempo após o primeiro – para que ambos coexistam no mesmo ambiente, mas com dois genomas distintos –, o que não parece provável. Portanto, o que deve ser considerado como elemento desencadeador de obsolescência é a característica específica que foi superada.

Quando se considera aspectos objetivos das melhorias realizadas, a possibilidade de obsolescência se torna mais clara. Em 2018, o cientista chinês He Jiankui afirmou ter criado os primeiros bebês modificados geneticamente do mundo (28). A modificação genética se deu com o objetivo de tornar essas pessoas resistentes ao vírus HIV, causador da AIDS. O experimento, embora condenado veementemente pela comunidade científica (29), trouxe à tona uma realidade: a existência de pessoas geneticamente modificadas.

Nesse sentido, o resultado da modificação genética possibilita obsolescência independentemente de ser bem-sucedida ou não. Veja-se o seguinte exemplo: uma pessoa nasce após modificação genética embrionária voltada à resistência para determinadas doenças. Logo, esse indivíduo será de fato resistente ou poderá sofrer danos colaterais de uma edição falha, como a ativação de células cancerígenas (26).

No primeiro cenário, de sucesso, haverá um indivíduo que ficará menos doente do que outro sem a modificação. Isso importa, por exemplo, para empresas, que podem preferir a contratação de alguém que potencialmente trabalhará sem interrupções de saúde. Planos de saúde, por sua vez, poderão privilegiar o indivíduo modificado em sua cobertura, vez que haveria resistência genética. No segundo cenário, por sua vez, ocorrerá o oposto. O indivíduo terá saúde mais frágil e, por isso, restará afastado de diversos seguimentos sociais em virtude da sua inaptidão para o exercício de determinadas atividades.

No futuro, a partir do momento em que a edição genética permitir modificações marcantes em quaisquer que sejam as características humanas, a diferenciação provocada ampliará a margem de incidência da obsolescência. Determinadas características, em determinados contextos, serão mais consideradas do que outras, que é algo que já ocorre, seja no contexto genético, social, cultural, financeiro e a engenharia genética representa mais um elemento nessa equação do obsoleto. Ao debate bioético, cabe o papel de antecipar as consequências dessa obsolescência e discutir formas de amenizar o problema.

As implicações da obsolescência para os indivíduos modificados geneticamente

Ao decorrer das décadas, a humanidade vem formando concepções próprias acerca de si mesma. A compreensão que o ser humano tem acerca de sua existência perpassa por aspectos biológicos, psicológicos, espirituais. A complexidade de uma pessoa é fruto de milhares de anos de evolução – comportamental, cultural, intelectual, física. Conforme ensina Jürgen Habermas (10), todos esses elementos que compõem a aquarela humana eram considerados como oriundos da natureza orgânica, podendo ser, quando muito, cultivados. A edição genética, entretanto, veio para romper com essa perspectiva.

O acesso ao genoma humano e a possibilidade de sua manipulação trouxe luz a uma nova realidade. A capacidade de interferência na conformação natural inerente à espécie poderá causar ao ser humano transformação significativa em sua própria auto compreensão (9), ou seja, elementos antes compreendidos como constituições naturais passam a ser enxergados como manifestações de genes passíveis de modificação externa. E se o próprio indivíduo humano, titular do direito à saúde, se transforma nesse processo, é razoável pensar que a constituição desse direito se modifica.

A nova realidade imposta pelo acesso ao genoma humano representa verdadeira revolução existencial e sanitária. Se antes os indivíduos se relacionavam por meio do cultivo de elementos naturais variáveis, agora surge no horizonte a possibilidade de escolha desses elementos antes do nascimento. As escolhas, por sua vez, como alerta Habermas, estão dentro de uma esfera volitiva que não diferencia finalidades terapêuticas de finalidades aperfeiçoadoras, prevalecendo as intenções individuais dos integrantes do mercado (10). A revolução existencial, representada pela mudança na autocompreensão humana, se mostra como elemento agravante na reflexão acerca das implicações da obsolescência humana do

indivíduo com modificações genéticas, ainda mais quando se projeta a aplicação da edição genética no contexto da prática médica.

A pessoa com genes modificados terá como um dos alicerces de sua autocompreensão as características genéticas artificialmente determinadas a si por outrem e, quanto mais o procedimento de edição genética avançar, mais *melhorias* serão disponibilizadas para os indivíduos no futuro. Com isso, é preciso levar em consideração as relações estabelecidas entre pessoas com diferentes modificações genéticas perante o novo mundo e, mais, é preciso refletir como seria pensar em si mesmo como um indivíduo obsoleto.

Robert Sparrow (6) ressalva que, enquanto não houver número suficiente de pessoas melhoradas geneticamente, de maneira que algumas tenham se tornado obsoletas, a resposta para o questionamento anterior é apenas especulativa. Entretanto, embora a resposta objetiva necessite de elementos empíricos para ser alcançada, a reflexão prévia – considerando a possibilidade concreta do advento da nova realidade genética – é de suma importância para a construção de fundamentos bioéticos que possam auxiliar a solução de problemas futuros e que se manifestarão também no direito à saúde. Isso porque, a partir do momento em que a prática da edição genética em seres humanos se tornar plenamente acessível, é razoável pensar que sua aplicação fará parte da prática médica do futuro. Seja com finalidade terapêutica ou de melhoramento, a inserção dessa técnica como um instrumento médico transforma a discussão em uma questão ética – no sentido amplo, englobando saúde física e mental.

Quanto mais a tecnologia avançar, mais complexos se tornarão os elementos dessa relação. Deve-se ter em mente que o indivíduo poderá buscar a intervenção médica a fim de implementar melhorias genéticas, para si ou para sua descendência, sob a justificativa do exercício do direito à saúde. Será demandado do profissional reflexões sobre a eticidade daquela conduta, deliberando até que ponto a aplicação ou a não aplicação da edição, de fato, atenderá à efetivação do direito, ainda mais se o paciente que demandar as modificações genéticas estiver tomado pelo sentimento de obsolescência. Seria possível *atualizar* um ser humano?

Pessoas modificadas geneticamente terão que lidar com a obsolescência reiteradamente. Na medida em que ficarem mais velhos, esses indivíduos precisarão se relacionar com outros que já terão aperfeiçoamentos genéticos ainda mais avançados. Por

conta disso, haverá oportunidade para manifestação de sentimentos de superioridade de pessoas mais jovens perante pessoas mais velhas, já que a obsolescência dos genes nessa relação se mostrará mais clara. A perspectiva de obsolescência tornará o processo de envelhecimento mais angustiante, influenciando diretamente no bem-estar das pessoas (6), e esse envelhecimento não necessariamente implica se tornar idoso, tendo em vista que a diferença entre os tipos de melhorias pode ser de alguns anos.

A interferência negativa da possibilidade de obsolescência genética de seres humanos no âmbito do bem-estar é flagrante: a pessoa modificada geneticamente que se depara com um indivíduo com modificações mais avançadas estará sujeita ao sentimento de inferioridade. Além desse sentimento de ser ultrapassado, o aspecto material da modificação também se mostra problema relevante, isso porque, na medida em que o indivíduo modificado cresce e toma consciência do seu corpo “como algo fabricado” (19), passa a existir o choque entre a perspectiva desse indivíduo modificado e a perspectiva daqueles que elegeram as modificações.

Como a edição genética pode ser realizada antes do nascimento do indivíduo, caberia aos pais decidirem quais características serão implementadas (6). Isso significa que o projeto parental – concebido pelos valores e decisões de terceiros – influenciaria nos genes de outra pessoa e nos aperfeiçoamentos escolhidos. Em sentido semelhante, Michael Sandel (11) destaca que a seleção de características como sexo, intelecto e habilidades físicas se relaciona com investimentos massivos dos progenitores e acabam tornando os filhos projetos de suas ambições.

Embora a discussão sobre a obsolescência genética proposta neste trabalho seja voltada aos indivíduos modificados, essa carga valorativa atribuída pelos progenitores no momento da seleção de melhoramentos é fundamental para a compreensão das consequências da obsolescência genética do indivíduo manipulado.

É preciso ter em mente que, atualmente, o patrimônio genético de alguém é adquirido mediante concessão natural, oriunda da mistura de material genético de dois indivíduos. Neste contexto, a genética de alguém é algo se aceita – de forma resiliente ou não – e se cultiva, significando que o indivíduo nasce com determinadas características naturais e escolhe desenvolvê-las ou não. Entretanto, segundo Habermas, quanto mais a “evolução aleatória” passa ao campo da intervenção tecnológica, menos o que é “produzido” se diferencia do que “se transforma por natureza” (10). Há uma quebra do paradigma da

naturalidade, pois quem escolhe as características e quem as recebe são sujeitos diferentes. Logo, os geradores determinam aspectos fundamentais do gerados e esse processo envolve escolhas, e escolhas envolvem valores. Nessa ótica, como efetivar o direito à saúde em um contexto onde elementos essenciais aos seres humanos passarem a ser escolhidos deliberadamente?

Conforme destaca Ana Thereza Meirelles Araújo, a “possibilidade de manipular a si próprio é o elemento de transformação das convicções naturais”, já que a pessoa deixa de se compreender como resultado de uma aleatoriedade natural genética e passa a se enxergar como fruto de um projeto parental (9). Esse projeto parental, por sua vez, é realizado objetivando um resultado previsto. O indivíduo modificado, então, terá esse resultado como cerne de sua existência – já que foi concebido para atingi-lo.

Porém, a partir do momento em que esse projeto parental se defasa, resta ao indivíduo o sentimento de não-pertencimento, pois suas características fundamentais foram superadas por outras mais avançadas e aquela pessoa torna-se, então, obsoleta. Ressalta-se que essa obsolescência diz respeito a características genéticas específicas, a serem analisadas de acordo com o contexto. Porém, a angústia existencial transcende a questão genética, já que o que prevalece é o sentimento de ser um ser humano fora de moda.

No futuro, com o passar do tempo, os genes selecionados no projeto parental serão superados por *genes melhores*, tornando-se obsoletos. O grande problema está na possibilidade daquele indivíduo modificado viver conectado a um constante desapontamento, pois, já que o projeto parental reflete valores e expectativas de terceiros, a constituição biológica aperfeiçoada geneticamente poderá causar no indivíduo o dever de corresponder às expectativas impostas antes mesmo do seu nascimento. Essa questão já representa relevante problema existencial, mas se agrava quando a modificação genética se torna obsoleta e o indivíduo sequer consegue suprir a expectativa. Tem-se então, simultaneamente, a angústia existencial da pessoa pelo não cumprimento do que dela se espera, e a impossibilidade de encontrar um lugar no mundo, já que o aperfeiçoamento genético que fundamenta tais expectativas já foi superado.

Essas expectativas podem se manifestar, por exemplo, no âmbito profissional. Pessoas mais jovens, com *genes melhores*, poderão ser mais desejadas para trabalhos por alguns anos, até que uma nova geração, ainda *melhor*, tome seus lugares. Isso significa que, eventualmente, pessoas geneticamente obsoletas ficarão excluídas da linha de frente

da vida social e econômica, já que haveria necessidade de genes que essas pessoas não têm (6). Além disso, as diferenças genéticas entre indivíduos mais *modernos* e indivíduos *obsoletos* poderão apresentar dissonâncias na própria maneira com que o direito à saúde se efetivará para cada um deles, pois essas diferenças não seriam naturais, mas fruto da própria prática médica. Por exemplo, enquanto uma pessoa teria resistência à determinada doença, o outro precisaria de recursos da saúde para tratá-la e essa diferença seria resultado da própria utilização da edição genética como um recurso de saúde. Se um indivíduo sofre intervenção médica-genética, de maneira a sequer desenvolver a patologia, parece justo que a mesma técnica seja aplicada em favor daquele que tem a doença. Seria necessário pensar em formas de tratar a obsolescência, pois haveria ali uma questão de saúde.

É importante ressaltar que a questão da obsolescência, para se fazer relevante, deve envolver indivíduos contemporâneos, em outras palavras, o avanço da melhoria genética deve ocorrer em um espaço de tempo suficiente para permitir que uma pessoa melhorada conviva com outra ainda mais melhorada. Por isso é que o desenvolvimento da tecnologia deve ser constantemente acompanhado de reflexões bioéticas e condutas de controle. Se tudo se torna mais veloz, a bioética e o direito precisam, de alguma forma, encurtar a distância.

É notório que o preço do progresso é a obsolescência (6). O desenvolvimento de uma tecnologia expande horizontes, novas possibilidades surgem e com elas novas realidades. A partir do momento em que pesquisas sobre o acesso ao genoma humano se desenvolvem, faz-se necessário observar a obsolescência dos seres humanos como uma consequência.

A obsolescência genética ganha destaque quando relacionada a determinadas formas de aperfeiçoamento (30). Logo, essa ideia serve para nos alertar acerca da importância de evitar melhorias em características meramente relativas, como beleza e inteligência. É preciso ter em mente que a aplicação ilimitada do aperfeiçoamento genético tem o condão de influenciar negativamente no bem-estar do indivíduo, tornando-o obsoleto. Os danos, por sua vez, perpassam as esferas social, sanitária, psicológica e, principalmente, existencial.

A humanidade caminha para uma nova era. A compreensão do ser humano sobre si próprio já está se transformando, e se torna fundamental repensar o papel existencial do indivíduo face às novas tecnologias. A obsolescência genética apresenta graves consequências à dignidade humana, porém o avanço científico é inevitável.

Se a edição genética se desenvolve com a justificativa de melhorar a saúde das pessoas, é preciso compreender *saúde* como um conceito plural. Nesse sentido, saúde física e mental devem andar lado a lado e a obsolescência genética, por sua vez, pode trazer sérias consequências nessas duas searas. É por isso que – até mesmo para que se pense o direito à saúde à luz dos avanços genéticos – é preciso refletir-se sobre as implicações bioéticas dessa realidade que bate à porta. Afinal, ao ser humano cabe buscar formas de dominar os instrumentos que criou, sob pena de se tornar vítima do próprio conhecimento.

Considerações finais

O acesso ao genoma humano expandiu os horizontes científicos e existenciais. A possibilidade de selecionar e modificar características por meio da prática de edição genética traz reflexões, expectativas e receios. Nesse contexto, o constante desenvolvimento das técnicas de edição genética, como o CRISPR-Cas, representa grandes saltos para o futuro, trazendo à tona alternativas ao tratamento de doenças, mas indo além, mostrando-se como forma de aperfeiçoamento do ser humano. Avanços tecnológicos são fundamentais, mas têm um preço – a obsolescência –, o que torna imprescindível a reflexão se seres humanos podem ficar obsoletos geneticamente e como essa obsolescência poderá incidir na vida das pessoas no futuro e na forma de pensar o direito à saúde.

A análise técnica da edição genética, bem como do seu progressivo desenvolvimento, permite perceber como, a cada dia, a ciência avança significativamente rumo à manipulação plena do genoma humano. Torna-se plausível considerar que, dentro de algumas décadas, a edição genética alcançará níveis precisos de aplicabilidade e cabe a bioética analisar e compreender os reflexos dessa nova realidade para a vida humana – inclusive no que diz respeito ao direito à saúde.

Analisando as justificativas para a prática da edição genética, nota-se que um dos principais focos é o tratamento e prevenção de doenças genéticas. Porém, além do relevante valor da edição genética para a saúde no sentido terapêutico, também se discute a utilização dessa técnica para fins de *aperfeiçoamento genético*. Essa possibilidade, e seu potencial de concretização, levanta problemáticas como a obsolescência dos indivíduos modificados.

Assim, ante o constante desenvolvimento científico, que naturalmente caminha para a seara médica, e considerando que avanços tecnológicos vem às custas da obsolescência,

o presente artigo propõe reflexões sobre a possibilidade de obsolescência genética humana e sobre suas conseqüentes implicações.

Percebe-se que a obsolescência já se faz presente na vida das pessoas. Uma vez que habilidades se tornam ultrapassadas, surgem conseqüências nos âmbitos cultural e social. O melhoramento genético surge como um novo elemento nesta relação. A obsolescência, entretanto, não abrange toda a complexidade humana, em verdade, o ser humano modificado geneticamente pode se tornar obsoleto apenas em pontos específicos relacionados às modificações que foram realizadas. Apesar dessa especificidade, os problemas gerados são sérios e devem ser levados em consideração.

Em um cenário no qual a tecnologia e a medicina permitem editar genes humanos antes mesmo do nascimento do ser, nota-se que a forma de se pensar o direito à saúde e de materializá-lo se faz complexa. A partir do momento que edição genética se torna uma questão de saúde, e que indivíduos passam a ter suas características físicas determinadas por meio dessa edição, é preciso considerar que as diferenças entre as demandas sanitárias trazidas por essas pessoas, em verdade, seriam fruto da própria intervenção médica mediante edição genética. Nesse contexto, pode surgir a necessidade de se valer do direito à saúde para tratar a obsolescência.

Seguindo essa lógica, demonstra-se que a obsolescência oriunda de modificações genéticas específicas implica conseqüências existenciais e materiais às pessoas, pois as edições para melhoramento tornarão o indivíduo modificado *preferível* para o exercício de determinadas funções na sociedade – sejam essas laborativas ou não. Essa predileção, por sua vez, dura até o momento em que outro indivíduo, ainda mais aperfeiçoado geneticamente, supera o anterior e, com isso, além do impacto material, tem-se o impacto existencial. As pessoas experimentarão profunda angústia enquanto envelhecem, já que o passar do tempo significa o surgimento de *genes melhores* que as tornarão obsoletas. Não obstante, o reconhecimento do próprio corpo como algo produzido agrava o sentimento de obsolescência a partir do momento em que as modificações que formam a base dessa pessoa são superadas. Há, então uma diminuição do reconhecimento do elemento humano em prol de uma *coisificação* da pessoa.

As diferentes modificações aplicadas, consideradas em um contexto onde existem configurações genéticas mais *modernas* e mais *obsoletas*, agregam complexidade à aplicação do direito à saúde, uma vez que, se as modificações de determinados indivíduos

decorreram de uma prática médica – seja terapêutica ou aperfeiçoadora -, é razoável considerar que a efetivação desse direito deve estar apta a harmonizar as diferenças que criou.

O presente artigo conclui que a edição genética voltada para o aperfeiçoamento pode causar obsolescência dos seres humanos em questões existenciais, mas que também poderão se manifestar como questões de saúde. Essa obsolescência guarda aproximação com a ideia habermasiana da indistinção entre pessoas e produtos e pode causar profunda angústia existencial àqueles indivíduos modificados geneticamente quando essas modificações se tornarem ultrapassadas. A plausibilidade da reflexão está nos avanços tecnológicos cada vez mais rápidos no âmbito da edição genética, que amplia cada vez mais os horizontes. As consequências da obsolescência, portanto, são visualizadas pelo processo de fracasso humano e sentimento de angústia existencial constante, decorrente das possibilidades da pessoa ser inutilizada de acordo com o avanço da engenharia genética, e que trazem desafios quanto à efetivação do direito à saúde, assim considerado como elemento materializador da saúde física e mental.

Para enfrentar as demandas de um novo mundo oriundo do desenvolvimento da genética, é preciso expandir o pensamento e realizar reflexões bioéticas amplas, voltadas para problemas futuros. O desenvolvimento, mesmo introdutório, de ideias relacionadas às implicações bioético-jurídicas resultantes da edição genética em seres humanos, é fundamental para que o ser humano não corra o risco de se tornar obsoleto perante o próprio conhecimento que produziu.

Referências

1. Furtado RN. Edição genética: riscos e benefícios da modificação do DNA humano. *Revista Bioética*. 2019 abr/jun. [Acesso em 28.jun.2020]; 27 (2): 223-233. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-80422019000200223&tlng=pt.
2. Marfany G. Interrogantes y retos actuales de la edición genética. *Revista de Bioética y Derecho*. 2019 nov. [Acesso em 28.jun.2020]; 47:17-31. Disponível em: <https://revistes.ub.edu/index.php/RBD/article/view/28551/29605>.
3. Da redação. Cientista que alterou DNA de bebês é condenado a 3 anos de prisão na China. *Revista Veja*. 30. dez. 2019 [Acesso em 28.jun.2020]. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/cientista-que-modificou-dna-de-bebes-e-condenado-a-3-anos-de-prisao/>.

4. Güell M. Gene editing in translational research. *Revista de Bioética y Derecho*. 2019 nov. [Acesso em 28.jun.2020]; 47: 5-15. Disponível em: <https://revistes.ub.edu/index.php/RBD/article/view/28570/29629>.
5. Adli M. The CRISPR tool kit for genome editing and beyond. *Nature Communication*. 2018; 9 (1911). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04252-2>.
6. Sparrow R. Yesterday's Child: How Gene Editing for Enhancement Will Produce Obsolescence—and Why It Matters. *The American Journal of Bioethics*. 2019; 19 (7): 6-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/15265161.2019.1618943>.
7. Popper K. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Editora Cultrix; 1972.
8. Popper K. *A lógica das ciências sociais*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro; 2004.
9. Araújo AT. A proteção à naturalidade do patrimônio genético face à proposta da eugenia liberal: o futuro da natureza humana em Jürgen Habermas. *Revista de Biodireito e Direito dos Animais*. 2017 [Acesso em 28.jun.2020]; 3(2): 1-17. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/revistarbda/article/view/2301/pdf>.
10. Habermas J. *O futuro da natureza humana: a caminho de uma eugenia liberal?* São Paulo: Martins Fontes; 2004.
11. Sandel MJ. *Contra a perfeição: ética na era da engenharia genética*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira; 2018.
12. Maeder ML, Gersbach CA. Genome-editing technologies for gene and cell therapy. *Molecular Therapy*. 2016; 24 (3): 430-446. DOI: <https://doi.org/10.1038/mt.2016.10>.
13. Fineran PC, Charpentier E. Memory of viral infections by CRISPR-Cas adaptive immune systems: acquisition of new information. *Virology*. 2012; 434(2): 202–209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virol.2012.10.003>.
14. Baum C, Kustikova O, Modlich U, Li Z, Fehse B. Mutagenesis and oncogenesis by chromosomal insertion of gene transfer vectors. *Human gene therapy*. 2006; 17(3): 253–263. DOI: <https://doi.org/10.1089/hum.2006.17.253>.
15. Mandal PK, Ferreira LM, Collins R, Meissner TB, Boutwell CL, Friesen M, Vrbanc V, Garrison BS, Stortchevoi A, Bryder D, Musunuru K, Brand H, Tager AM, Allen TM, Talkowski ME, Rossi DJ, Cowan CA. Efficient ablation of genes in human hematopoietic stem and effector cells using CRISPR/Cas9. *Cell stem cell*. 2014; 15(5): 643–652. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stem.2014.10.004>.
16. Kiskinis E, Sando J, Williams LA, Boulting GL, Moccia R, Wainger BJ, Han S, Peng T, Thams S, Mikkilineni S, Mellin C, Merkle FT, Davis-Dusenbery BN, Ziller M, Oakley D, Ichida J, Di Costanzo S, Atwater N, Maeder ML, Goodwin MJ, Eggan K. Pathways disrupted in human ALS motor neurons identified through genetic correction of mutant SOD1. *Cell stem cell*. 2014; 14(6): 781–795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stem.2014.03.004>.

17. Benabdallah BF, Duval A, Rousseau J, Chapdelaine P, Holmes MC, Haddad E, Tremblay JP, Beauséjour CM. Targeted Gene Addition of Microdystrophin in Mice Skeletal Muscle via Human Myoblast Transplantation. *Molecular therapy. Nucleic acids*. 2013; 2(1): e68. DOI: <https://doi.org/10.1038/mtna.2012.55>.
18. Ministério da Saúde. Biblioteca Virtual em Saúde: hemofilia. Brasília, 2015 [Acesso em 27.ago.2020]. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/dicas-em-saude/2077-hemofilia>.
19. Ministério da Saúde. Biblioteca Virtual em Saúde: distrofia muscular. Brasília, 2016 [Acesso em 27.ago.2020]. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/dicas-em-saude/2194-distrofia-muscular>.
20. Ministério da Saúde. Biblioteca Virtual em Saúde: fibrose cística. Brasília, 2018 [Acesso em 27.ago.2020]. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/dicas-em-saude/2675-fibrose-cistica>.
21. Santalo J. La mejora genética humana en los tiempos del CRISPR/Cas9. *Revista de Bioética y Derecho*. 2019 nov. [Acesso em 28.jun.2020]; 47: 33-41. Disponível em: <https://revistes.ub.edu/index.php/RBD/article/view/28376/29606>.
22. Santaló J. Edición genómica. La hora de la reflexión. *Revista de Bioética y Derecho*. 2017 [Acesso em 28.jun.2020]; 40: 157-165. Disponível em: <https://revistes.ub.edu/index.php/RBD/article/view/19169/21623>.
23. Kuhn T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva; 1998.
24. Pearsall J. *Concise Oxford English dictionary (revised)*. Oxford: Oxford University Press; 2002.
25. Do G1. Empresas buscam profissionais mais qualificados, diz pesquisa. *G1 Concurso e Emprego*. 19 nov 2015 [Acesso em: 28.jun.2020]. Disponível em: <http://g1.globo.com/concursos-e-emprego/noticia/2015/11/empresas-buscam-profissionais-mais-qualificados-diz-pesquisa.html>.
26. Chapman AR. Tomorrow's Child: Unlikely to Be Obsolete. *The American Journal of Bioethics*. 2019.jun; 19 (7): 22-23. DOI: <https://doi.org/10.1080/15265161.2019.1618953>.
27. Stoll C. Why the web won't be nirvana. *Newsweek*. 26 fev 1995 [Acesso em: 28.jun.2020]. Disponível em: <https://www.newsweek.com/clifford-stoll-why-web-wont-be-nirvana-185306>.
28. Zuk P, Kostick KM, Lázaro-Muñoz G. Could Genetic Enhancement Really Lead to Obsolescence? *The American Journal of Bioethics*. 2019.jun; 19 (7): 34-36. DOI: <https://doi.org/10.1080/15265161.2019.1618962>.
29. Associated Press. Cientista chinês alega ter criado primeiros bebês geneticamente editados. *G1 Ciência e Saúde*. 26 nov 2018 [Acesso em: 28.jun.2020]. Disponível em:

<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2018/11/26/cientista-chines-alega-ter-criado-primeiros-bebes-geneticamente-editados.ghtml>.

30. Beriain IM. Obsolescence Is Not a Good Reason to Oppose All Types of Enhancement. *The American Journal of Bioethics*. 2019.jun; 19(7): 49-50. DOI: <https://doi.org/10.1080/15265161.2019.1618950>.

Colaboradores

Aguiar M contribuiu com a revisão crítica e aprovação da versão final do artigo.
Verdival R contribuiu com a redação do artigo.

Submetido em: 28/06/20

Aprovado em: 27/08/20

Como citar este artigo:

Aguiar M, Verdival R. Implicações da obsolescência dos seres humanos modificados geneticamente em virtude dos avanços tecnológicos da edição genética. *Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário*. 2020 jul./set.; 9(3): 49-71.

<http://dx.doi.org/10.17566/ciads.v9i3.691>