

Mejoramiento y transhumanismo: ¿Un cambio aceptado?

María de la Luz Casas Martínez
Universidad Panamericana
mcasas@up.edu.mx

Human Enhancement and Transhumanism: An Accepted Change?

ISSN 1989-7022

RESUMEN: La medicina del mejoramiento es un paso cercano al transhumanismo y se ha posicionado en nuestra sociedad. Este movimiento cultural, pretende utilizar la ciencia y la tecnología para llevar al ser humano más allá de las limitaciones de su forma natural, con la intención de posteriormente pasar al posthumanismo, la creación de una nueva especie.

Los últimos avances científicos, especialmente en el campo genético, pueden posibilitar estas opciones. Las innovaciones electromecánicas, como la miniaturización de los componentes y la mejora de los materiales biocompatibles, han propiciado avances en las interfaces cerebro-máquina que potencian una dimensión cibernética, en la que los dispositivos mecánicos estarían bajo el control directo de la mente. El campo de las ciencias de la salud, es especialmente fructífero para la aplicación de estas tecnologías, propiciando en el ser humano mejoras, que pueden ser aplicadas a la medicina del mejoramiento y al transhumanismo.

Esta reflexión ofrece una visión de los más importantes de estos avances recientes, con especial énfasis en la edición del genoma humano. No se considerarán en esta contribución específicamente temas de posthumanismo.

PALABRAS CLAVE: Mejoramiento humano, calidad de vida, genética, NBIC), CRISPR-Cas9

ABSTRACT: Medical enhancement), a step close to transhumanism, has positioned itself in our society. Transhumanism aims to use science and technology to take human beings beyond the limitations of their natural form, with the intention of subsequently moving to posthumanism, the creation of a new species.

Recent scientific advances, especially in the genetic (field, may make these options possible. Electromechanical innovations, such as the miniaturization of components and the improvement of biocompatible materials, have led to advances in brain-machine interfaces that enhance a cybernetic dimension, in which mechanical devices would be under the direct control of the mind. The field of health sciences is particularly fruitful for the application of these technologies, leading to improvements in the human being, which can be applied to the medical enhancement and transhumanism.

This reflection offers an overview of the most important of these recent advances, with special emphasis on genome editing. Issues of posthumanism will not be specifically considered.

KEYWORDS: Human Enhancement, quality of life, genetics, NBIC, CRISPR-Cas9

1. Introducción

Lo que comenzó como un movimiento de ciencia ficción para desarrollar a los seres humanos más allá de las limitaciones naturales de la especie *Homo sapiens* se ha convertido, en los últimos años, en algo mucho más generalizado debido al gran avance de la biotecnología en la actualidad.

Para More (2013), el transhumanismo recoge valores humanistas como la racionalidad, la autonomía personal, etc., afirmando que la principal diferencia entre el transhumanismo y el humanismo tradicional es que el primero no se limita a los medios naturales para mejorar la condición humana y señala: "El humanismo tiende a confiar exclusivamente en el refinamiento educativo y cultural para mejorar la naturaleza humana, mientras que los transhumanistas quieren aplicar la tecnología para superar los límites impuestos por nuestra herencia biológica y genética" (More, 2013, 4). Esta postura durante mucho tiempo fue un movimiento bastante pequeño o incluso marginal en filosofía, pero, el transhumanismo está ganando fuerza como movimiento cultural e intelectual y se está convirtiendo cada vez más en una fuerza política global.

Es de crucial importancia prestar la debida atención académica al transhumanismo ahora, no solo por su ascenso reciente y continuo como fuerza cultural y política sino también por la inminencia de grandes avances. en los tipos de tecnologías biotrans-



formadoras en las que se centra el transhumanismo, desde la ingeniería genética hasta las interfaces cerebro-máquina y la inteligencia artificial. Cuando se trata de tecnologías que tienen el potencial de modificar radicalmente el organismo humano y las especies, la ingeniería genética es la tecnología que ofrece más riesgo y más beneficios. Desde 2012, el creciente éxito de la técnica de ingeniería genética conocida como *CRISPR* ha generado preocupaciones ampliamente compartidas sobre la posibilidad de que la capacidad tecnológica en esta área supere con creces la reflexión ética y la política regulatoria. Como resultado de tales avances, en 2015 un grupo de destacados biólogos pidió una moratoria mundial sobre el uso de *CRISPR* para realizar cambios hereditarios en el genoma de una persona (Wade, 2015, 1).

La posición transhumanista oficial de la Asociación Mundial Transhumanista (Humanityplus, 2023) apoya y solicita el financiamiento público de la investigación, así como un proceso regulatorio para garantizar su seguridad. La posición transhumanista es que cualquier esfuerzo por prohibir la investigación que conduzca a tales terapias, o el uso de tales terapias una vez que se haya demostrado que son seguras y efectivas, sería una violación de los derechos a la libertad reproductiva y la autonomía corporal. (Hughes, 2015)

Pero, para una visión más moderada de la medicina del mejoramiento y el llamado transhumanismo suave, el riesgo radica en que no podemos saber qué rasgos serán valorados por los futuros humanos que resulten de las manipulaciones de la línea germinal por parte de los humanos actuales, no podemos en este momento asumir que en el futuro se consideraría salud o mejora. (Petre, 2017, 329). Por ejemplo, tener memoria de todo acontecimiento aprendido, podría ser traumático y negativo en muchos contextos.

En este documento analizaremos dos de las principales tecnologías que pueden contribuir a cambios hacia la medicina del mejoramiento y el transhumanismo: los cambios biológicos directos referidos a la genética y los cibernéticos.

2. Mejoramiento humano a través de la genética

Si bien puede considerarse la postura eugenésica ligada al diagnóstico genético preimplantatorio como una cercana a la visión transhumanista de mejoramiento los cambios directos genéticos, especialmente en líneas germinal son relativamente novedosos. (Porter, 2017). Reconociendo la importancia de la genética terapéutica o diagnóstica en el campo de la medicina, me referiré solamente a aquella con fines de cambios especialmente relacionados a las preferencias de los padres sobre sus hijos. (Gard AM, Dotterer HL, & Hyde LW, 2019).

Aclaramos que este tipo de manipulación genética no está permitido en la mayoría de los países (debido a que el propio proceso de integración del nuevo ADN en un cromosoma existente (para facilitar la herencia estable del gen extra) podría causar daños adicionales y dar lugar a problemas difíciles de manejar genéticamente, el llamado *off target* (Thomas T., 2022), ha sido uno de los motivos por los cuales estas tecnologías están limitadas, pero como todo en ciencia, será superado por el desarrollo tecnocientífico, por lo cual, hay que considerar estas aplicaciones en mediano plazo.

Un cambio importante ha sido, sin duda, el desarrollo de una tecnología económica y más precisa en el campo de la genética la técnica *CRISPR-Cas9* para la edición del genoma. Anteriormente se había logrado cierto éxito en la alteración de genomas de otras especies utilizando herramientas conocidas como nucleasas de dedos de zinc (*ZFN*) y nucleasas efectoras similares a activadores de la transcripción (*TALEN*) (Gaj et al., 2013). Sin embargo, aunque el uso de *CRISPR* no es trivial, las *ZFN* y las *TALEN* son considerablemente más complicadas, caras e ineficaces, por lo que rápidamente quedaron fuera de la carrera por mejorar a los humanos una vez que se identificó este último método.

CRISPR ha cambiado las reglas y cobertura de la investigación genética ya que posibilita verdaderos cambios en la estructura genética, que puede llevar no solamente al perfeccionamiento y transhumanismo, sino al posthumanismo, al posibilitar, en un futuro, la creación de una nueva especie (Willmott, 2022).

Una de las ventajas de *CRISPR* es que con ella se puede diseñar una molécula corta de ARN para alterar la ubicación de la rotura del ADN, en lugar de reconstruir la propia enzima, y ello es un factor crucial que distingue a *CRISPR-Cas9* tanto de las *ZFN* como de las *TALEN*. (Zhang D, 2020).

Romper la doble cadena del ADN de una célula es una grave amenaza para su viabilidad, pero actualmente uno de estos mecanismos es la recombinación homóloga (HR), también llamada reparación dirigida por homología. (Al-Zain AM, 2021). La HR aprovecha el hecho de que el ser humano dispone de) dos juegos de variantes cromosómicas y orquesta la restauración de la secuencia dañada copiando la sección equivalente del cromosoma sano. Para cambiar o introducir intencionadamente un gen completamente diferente, –como sería necesario para la mejora–, el mecanismo de reparación necesita que se le ofrezca una plantilla rival a la que se pueda engañar para que la utilice en lugar de la segunda copia natural. (Fu YW, 2021)

Investigadores de todo el mundo emplean *CRISPR* y métodos afines para modificar diversos organismos. *CRISPR* también se ha utilizado ampliamente con células humanas. Por lo general, este trabajo se realiza en líneas celulares cultivadas, tanto con fines de investigación básica como, cuando existe la expectativa de un uso terapéutico, para permitir que se realicen las comprobaciones adecuadas antes de considerar la posibilidad de transferir esas células a un paciente (Wang et al., 2014. Estas aplicaciones han demostrado que el sistema *CRISPR* funciona, pero actualmente, aunque insistimos, estos problemas podrán ser revertidos por la propia ciencia a mediano plazo. Aunque por el momento siguen existiendo riesgos de mosaicismo (Capalbo A, 2021) en el cual conviven dos poblaciones distintas de células, algunos con el cambio genético y otros no. Otro problema es el denominado *off target*, “efectos fuera del objetivo” en los que *Cas9* corta el ADN en lugares equivocados, causando alteraciones no deseadas e inesperadas en el genoma.

Es por esto que se están desarrollando mejoras del método *CRISPR* estándar que reduzcan algunas de estas características indeseables. Por ejemplo, se han diseñado mutaciones en *Cas9* que aprovechan la orientación específica de la secuencia del sistema *CRISPR-Cas9*, pero restringen el corte a una hebra del ADN, un escenario mucho menos arriesgado al tiempo que introducen nuevas capacidades para cambiar el ADN (Platt, 2019).

El antecedente de que estas técnicas pueden ser utilizadas en embriones humanos se presentó en noviembre de 2018, cuando el Dr. He Jiankui (Wang LY, 2018) anunció que había modificado genéticamente a dos niñas gemelas alterando una proteína llamada *CCR5* que es aprovechada por el VIH para entrar en las células. Más concretamente, utilizó *CRISPR-Cas9* para alterar el gen de *CCR5* en las niñas, introduciendo una mutación que hacía una versión no funcional de esa proteína y que, por tanto, debería inmunizarlas contra el virus. La aplicación, ilegal por atentar contra el art. 336 de la Ley Penal de la República Popular China, fue causante del despido y encarcelamiento de este investigador. También se condenó unánimemente su eticidad por los siguientes motivos: no contar con una ponderación) riesgo/beneficio aceptable, la existencia de alternativas seguras (como el lavado de espermatozoides) y no superar los estándares científicos de buenas prácticas como la revisión por pares de los resultados de su investigación. Las gemelas actualmente se encuentran en observación, pues no se conocen los posibles riesgos que el cambio genético pudiera producir en ellas a mediano y largo plazo. Las autoridades chinas estuvieron de acuerdo, condenándolo a tres años de prisión, multa e inhabilitación profesional (Regalado, 2019). Aunque este es el primer ejemplo conocido en el que alguien ha modificado intencionadamente el genoma humano heredable, la simplicidad de *CRISPR* hace muy plausible que ya se estén llevando a cabo intentos de realizar otras alteraciones genéticas en algún otro lugar del mundo (Hamzelou 2023).

El sistema *CRISPR-Cas9* y las tecnologías afines tienen el potencial no sólo de manipular genes humanos existentes, sino de aportar genes derivados de otros organismos, o, incluso, secuencias totalmente artificiales. Aparte de ciertas limitaciones de tamaño, en principio debería ser posible integrar cualquier gen en el genoma del receptor una vez generada la rotura deseada. Podrían introducirse nuevos atributos, incluidos los aumentos radicales, término utilizado para definir los cambios literalmente sobrehumanos. Esto ya se ha hecho en el caso de la "humanización" de órganos porcinos para hacerlos menos propensos a provocar rechazo cuando se trasplantan a un receptor humano (Begley, 2017) y estas técnicas pueden servir de base para futuros intentos de alterar directamente el genoma humano. También cabe destacar que, con una combinación adecuada de plantillas de ADN y ARN guía, *CRISPR* podría alterar varios genes a la vez. Sin embargo, es evidente que los problemas de potencial mosaicismos aumentan significativamente si el único resultado aceptable es la edición correcta en varios *loci* al mismo tiempo. Por tanto, la genética actual y los posibles avances a mediano plazo, podrán ser eficientes para lograr cambios transhumanos y, posiblemente, posthumanos.

3. La nanotecnología y robótica aplicada al ser humano

Por nanotecnología aceptamos la definición del Instituto de Salud de Estados Unidos: "La nanotecnología es la comprensión y el uso de la materia en una escala atómica y molecular para fines industriales. La manipulación de la materia a escala nanométrica (entre aproximadamente 1 y 100 nanómetros) tiene el potencial de aplicaciones novedosas en muchos campos, que incluyen la genómica, la ingeniería, la ciencia de la computación y la medicina." (NIH, 2023)

Se pueden distinguir varias formas de aplicación actualmente. Aquellas no invasivas, que permanecen externas al cuerpo, y las invasivas, insertadas dentro del organismo humano.

Como ejemplo la no invasiva tenemos a los exoesqueletos, (Gil-Agudo A, 2021) o el uso de dispositivos portátiles como *Fitbits* (Mughal F, 2022) para registrar datos biométricos que influyen en nuestras elecciones de estilo de vida. Un paso más allá sería el uso optativo de métodos de estimulación eléctrica cerebral como la estimulación magnética transcraneal y la estimulación transcraneal por corriente continua para mejorar el estado de ánimo, la memoria o la adquisición del lenguaje (Yazdi, 2020).

Pero, actualmente, existen tecnologías que se implementan directamente en el organismo humano y cambian sus funciones, como sucede con la implantación de chips de identificación por radiofrecuencia que pueden comunicarse con aparatos externos, almacenar números PIN y otra información electrónica que actualmente se utiliza para dotar de mejores capacidades a las personas discapacitadas físicamente. Sin embargo, también existe una comunidad de entusiastas de la modificación corporal, ya que pueden utilizarse para ampliar las experiencias sensibles humanas.

Los dispositivos electromecánicos implantados en el sistema nervioso central son otra novedosa tecnología, estas pueden realizarse a través de una conexión a la médula espinal, un nervio periférico o directamente con el cerebro. Este tipo de interfaces neuronales no son sólo cosa del futuro. Los implantes cocleares ya superan las deficiencias del proceso auditivo acústico normal transmitiendo señales eléctricas directamente al nervio auditivo, y la estimulación cerebral profunda, por ejemplo, (Fariba KA, 2022) para tratar trastornos del movimiento, implica el envío de impulsos a electrodos implantados en el cerebro (Fariba KA, 2022). Actualmente ya se han implantado electrodos en la corteza motora primaria de una mujer tetrapléjica (Collinger *et al.*, 2013. A través de cables conectados a su cráneo y así, ella fue capaz de manejar una prótesis con solo pensar en el movimiento deseado.

Si bien sus aplicaciones actuales son terapéuticas, no puede descartarse su aplicación transhumana en mediano plazo. En otros lugares, los investigadores han estado trabajando en dispositivos hápticos que transmiten información sensorial como el tacto, la presión y la posición de la extremidad al cerebro mediante microestimulación intracortical. (Docquier N, 2021.) En un estudio, se pidió a un hombre con una lesión medular que describiera los sentidos que experimentaba con una combinación de estímulos administrados a través de electrodos implantados en su corteza somato-sensorial primaria (Salas *et al.*, 2018. Un segundo equipo logró una sensación limitada de tacto y presión en el cerebro de un hombre paralizado, cuando conectaron una mano robótica a su región S1 (Flesher *et al.*, 2016). La ambición última de estos estudios es lograr un sistema de bucle cerrado, es decir, bidireccional, que combine tanto la información de entrada sensorial como la respuesta motora, ya que esto permitiría la sensación de motricidad fina.

Las aplicaciones bélicas de estos proyectos preocupan a la sociedad, gran parte de la financiación de estos trabajos haya procedido de la Agencia de Proyectos de Investigación para el Avance de la Defensa de Estados Unidos es un indicador de que las innovaciones de este tipo tienen un potencial tangible para fines de mejora, por ejemplo, el control de extremidades sobrehumanas para super-soldados. (Delgado Ramos G, 2023). La investigación sobre "cognición aumentada", que permite a una persona acceder a instalaciones informáticas remotas directamente desde su mente, podría permitir en el futuro realizar cálculos matemáticos complejos o concederles una percepción mejorada de su entorno, con la capacidad de archivar rutinariamente los datos recopilados, podrían desarrollarse habilidades de fluidez

lingüística instantánea o la capacidad de realizar alguna tarea específicamente relacionada con intereses políticos y bélicos importantes. (Roelfsema, Denys y & Klink, 2018).

Otra aplicación incluye la mejora de la velocidad de transferencia de información (Lebedev, Opris y & Casanova, 2018), así como avances en la ciencia de los materiales para ofrecer una conexión estable y eficaz entre el sustrato orgánico del cerebro y el hardware tecnológico.

La experiencia con los implantes cerebrales existentes ha puesto de manifiesto una serie de obstáculos que habrá que superar, ya que se han producido daños en los tejidos que rodean los electrodos, degradación de los propios electrodos, pérdida de señal debida al microdesplazamiento de las conexiones en la interfaz y desencadenamiento de respuestas inmunitarias (Polikov, Tresco y & Reichert, 2005). La biocompatibilidad y longevidad de los electrodos es una prioridad crucial. La estabilidad, las dimensiones y la naturaleza basada en el carbono de los nanotubos de grafeno los hacen especialmente atractivos para una serie de aplicaciones biomédicas, incluidas las interfaces cerebro-máquina (Rauti *et al.*, 2019).

El desarrollo de interfaces cerebro-máquina es un área de interés activo para el empresario Elon Musk (Waldert, 2016). Su empresa (*Neuralink*, 2023) desarrolla miniaturización, técnica esencial para unir electrodos al receptor sin dañar su tejido, aunque sus críticos se encuentran escépticos a que esto se logre, no hay que descartar el poder de la futura tecnología. (Corbyn, 2019).

Sin embargo, recordando el proyecto posthumano, estas tecnologías, en el futuro podrían llevar a cabo en el futuro (invertir el orden) proyectos como el dotar a una computadora de recuerdos humanos, (Tirosh-Samuels, 2018), haciendo así posible la propuesta de la “vida eterna” (sobre la inmortalidad, Payán Ellacuria & Romeo Casabona, 2021).

La robótica antropomorfa, relacionada ya con el posthumanismo, está siendo desarrollada, ya que en 2017 Arabia Saudí concedió la ciudadanía a un robot llamado Sophia y el Parlamento Europeo ha debatido la asignación de responsabilidad en caso de que el robot de una empresa sea considerado responsable de cualquier daño a la propiedad de terceros (Giger *et al.*, 2019). La unión de verter los recuerdos de una persona a una computadora, en forma de robot antropomorfo, lleva también este adelanto transhumano al campo posthumano en el futuro.

4. Conclusiones

La medicina del mejoramiento y el transhumanismo cuentan ya con apoyo económico, lo cual promueve el desarrollo biotecnológico y, por tanto, científico ampliamente avalado en nuestra sociedad. La medicina del mejoramiento es un hecho cierto, el cual bajo un uso terapéutico es plausible actualmente. La solución humana no trata de derogar la biotecnología, sino fomentar una tecno-inclusión que favorezca a la especie humana, alejándola de su desaparición a través del posthumanismo. Predecir el marco temporal y la importancia de las innovaciones es una tarea controvertida, entre otros aspectos porque en el mundo pluralista y secular de hoy, las diferentes comunidades (políticas, culturales, religiosas, etc.) comparten valores di-

ferentes y, a menudo, incompatibles; no existe un consenso unívoco entre las comunidades, no solo con respecto a los juicios de valor sobre cuestiones normativas controvertidas, sino incluso con respecto a los valores orientadores y los principios normativos básicos.

Si bien el discurso transhumanista podrá transformar criterios sobre el concepto de “normalidad” la postura moderada no es radicalmente incompatible con la aceptación al cambio, pues la autonomía y la conservación de la especie humana no son excluyentes necesariamente. Por ejemplo, podrían ser permitidos cambios en líneas somáticas y no germinales de los sujetos a fin de que no fueran heredados por futuras generaciones y se evaluara en su momento histórico el riesgo/beneficio adecuadamente.

Desde la perspectiva de una medicina del mejoramiento y un transhumanismo moderado, el concepto de “súper humanos” es irreal, el ser humanos es perfectible, pero no perfecto, como cualquier criatura material. Por tanto, lo importante es comprender y valorar lo que el ser humano es y representa, a nosotros mismos, y no podemos negar lo que somos, con debilidades y fortalezas de nuestra especie.

Es un hecho que, aunque se postulen ideas tecnofóbicas la ciencia es imparable y, por tanto, debemos apoyarnos en la inteligencia humana y un sólido sistema de valores, para utilizarla inteligentemente en favor de nuestra especie.

Bibliografía

- Al-Zain AM, Symington LS. (2021). The dark side of homology-directed repair. *DNA Repair (Amst)*. 2021 Oct;106:103181. doi: [10.1016/j.dnarep.2021.103181](https://doi.org/10.1016/j.dnarep.2021.103181). Epub 2021 Jul 17. PMID: 34311272.
- Begley, S. (2017, August 10). Birth of CRISPR'd pigs advances hopes for turning swine into organ donors. *STAT*. <https://www.statnews.com/2017/08/10/crispr-pigs-organ-transplant>
- Brooks, R. (2017). The seven deadly sins of AI predictions. *MIT Technology Review*, 120(6), 79–86. <https://www.technologyreview.com/2017/10/06/241837/the-seven-deadly-sins-of-ai-predictions>
- Capalbo A, Poli M, Rienzi L, Girardi L, Patassini C, Fabiani M, Cimadomo D, Benini F, Farcomeni A, Cuzzi J, Rubio C, Albani E, Sacchi L, Vaiarelli A, et cols. (2021). Mosaic human preimplantation embryos and their developmental potential in a prospective, non-selection clinical trial. *Am J Hum Genet*. 2021 Dec 2;108(12):2238-2247. doi: [10.1016/j.ajhg.2021.11.002](https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2021.11.002). Epub 2021 Nov 18. PMID: 34798051; PMCID: PMC8715143.
- Cohen Joe (2022). What is tDCS & Are DIY Devices Safe? <https://selfhacked.com/blog/tdds-benefits>
- Collinger, J. L., Wodlinger, B., Downey, J. E., Wang, W., Tyler-Kabara, E. C., et cols. (2013). High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia. *The Lancet*, 381(9866), 557–564. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61816-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61816-9)
- Corbyn, Z. (2019, September 22). Are brain implants the future of thinking? *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/science/2019/sep/22/brain-computer-interface-implants-neuralink-braingate-elon-musk>
- da Silva MC, Conti CL, Klauss J, Alves LG, do Nascimento Cavalcante HM, Fregni F, Nitsche MA, Nakamura-Palacios EM. (2013). Behavioral effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) induced dorsolateral prefrontal cortex plasticity in alcohol dependence. *J Physiol Paris*. 2013 Dec;107(6):493-502. doi: [10.1016/j.jphysparis.2013.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2013.07.003). Epub 2013 Jul 25. PMID: 23891741.

- Delgado Ramos G (2023). (Nanotecnología militar y sus implicaciones. Consultado abril 2023. Disponible en: <file:///Users/mariadelaluz/Downloads/delgado.pdf>
- Ding F. (2020). Genome editing with the CRISPR-Cas system: an art, ethics and global regulatory perspective. *Plant Biotechnol J.* 2020 Aug;18(8):1651-1669. doi: [10.1111/pbi.13383](https://doi.org/10.1111/pbi.13383). Epub 2020 Apr 30. PMID: 32271968; PMCID: PMC7336378.
- Docquier N, (2021). Timmermans S, Fiset P. Haptic Devices Based on Real-Time Dynamic Models of Multi-body Systems. *Sensors (Basel)*. 2021 Jul 14;21(14):4794. doi: [10.3390/s21144794](https://doi.org/10.3390/s21144794). PMID: 34300535; PMCID: PMC8309802.
- Fariba KA, Gupta V. (2022). Deep Brain Stimulation. 2022 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. PMID: 32496727.
- Flesher, S. N., Collinger, J. L., Foldes, S. T., Weiss, J. M., Downey, et cols. (2016). Intracortical microstimulation of human somatosensory cortex. *Science Translational Medicine*, 8(361), 361ra141. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaf8083>
- Fu YW, Dai XY, Wang WT, Yang ZX, Zhao JJ, Zhang JP, Wen W, Zhang F, Oberg KC, Zhang L, Cheng T, Zhang XB. (2021). Dynamics and competition of CRISPR-Cas9 ribonucleoproteins and AAV donor-mediated NHEJ, MMEJ and HDR editing. *Nucleic Acids Res.* 2021 Jan 25;49(2):969-985. doi: [10.1093/nar/gkaa1251](https://doi.org/10.1093/nar/gkaa1251). PMID: 33398341; PMCID: PMC7826255.
- Gaj, T., Gersbach, C. A., & Barbas III, C. F. (2013). ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering. *Trends in Biotechnology*, 31(7), 397–405. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.04.004>
- García-Carpintero A, Benito-Penalva J, Pons JL. (2020). Terapia robótica con el exoesqueleto H2 en la rehabilitación de la marcha en pacientes con lesión medular incompleta. Una experiencia clínica [Robot therapy with the H2 exoskeleton for gait rehabilitation in patients with incomplete spinal cord injury. A clinical experience]. *Rehabilitacion (Madr)*. 2020 Apr-Jun;54(2):87-95. Spanish. doi: [10.1016/j.rh.2019.10.004](https://doi.org/10.1016/j.rh.2019.10.004). Epub 2020 Mar 31. PMID: 32370833.
- Gard AM, Dotterer HL, Hyde LW. (2019). Genetic influences on antisocial behavior: recent advances and future directions. *Curr Opin Psychol.* 2019 Jun;27:46-55. doi: [10.1016/j.copsyc.2018.07.013](https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.07.013). Epub 2018 Aug 9. PMID: 30145531.
- Giger, J. C., Piçarra, N., Alves-Oliveira, P., Oliveira, R., & Arriaga, P. (2019). Humanization of robots: Is it really such a good idea? *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2), 111–123. <https://doi.org/10.1002/hbe2.147>
- Gil-Agudo A, Del Ama-Espinosa AJ, Lozano-Berrio V, Fernández-López A, Megía
- Lebedev, M. A., Opris, I., & Casanova, M. F. (2018). Augmentation of brain function: Facts, fiction and controversy. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 12, 45. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2018.00045>
- Humanityplus (2023). Elevaten the human condition. <https://www.humanityplus.org/>
- More M. (2013). Transhumanism. Towards a Futurist Philosophy. <https://www.ildodopensiero.it/wp-content/uploads/2019/03/max-more-transhumanism-towards-a-futurist-philosophy.pdf>
- Hughes J. (2012). The politics of transhumanism and the techno-millennial imagination,. *Zygon* 47 (4):757-776 (2012)
- Mughal F, Raffe W, Stubbs P, Kneebone I, Garcia J. (2022). Fitbits for Monitoring Depressive Symptoms in Older Aged Persons: Qualitative Feasibility Study. *JMIR Form Res.* 2022 Nov 29;6(11):e33952. doi: [10.2196/33952](https://doi.org/10.2196/33952). PMID: 36268552; PMCID: PMC9748791.
- National Institutes of Health. (2023). Nanotechnology definition. Consultada abril 2023, disponible en: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Nanotecnologia>
- Neuralink. Breakthrough Technology for the Brain. Consultado abril 2023. Disponible en: <https://neuralink.com/>

- Pejsa, K., Lee, B., Liu, C. Y., & Andersen, R. A. (2018). Proprioceptive and cutaneous sensations in humans elicited by intracortical microstimulation. *eLife*, 7, e32904. <https://doi.org/10.7554/eLife.32904>
- Petre I (2017). Future generations and the justifiability of germline engineering. *The Journal of Medicine and Philosophy*. 42: 328-341.
- Platt, R. J. (2019). CRISPR tool enables precise genome editing. *Nature*, 576, 48–49. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03392-9>
- Polikov, V. S., Tresco, P. A., & Reichert, W. M. (2005). Response of brain tissue to chronically implanted neural electrodes. *Journal of Neuroscience Methods*, 148(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.08.015>
- Porter A. (2017). Bioethics and Transhumanism. *J Med Philos*. 2017 Jun 1;42(3):237-260. doi: 10.1093/jmp/jhx001. PMID: 28499043.
- Rauti, R., Musto, M., Bosi, S., Prato, M. & Ballerini, L. (2019). Properties and behavior of carbon nanomaterials when interfacing neuronal cells: How far have we come? *Carbon*, 143, 430–446. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.11.026>
- Roelfsema, R., Denys, D., & Klink, P. C. (2018). Mind reading and writing: The future of neurotechnology. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(7), 598–610. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.04.001>
- Salas, M. A., Bashford, L., Kellis, S., Jafari, M., Jo, H. C., Kramer, D., Shanfield, K., Thomas T. (2022). Off-target Cas9 crystallized. *Nat Struct Mol Biol*. 2022 Dec;29(12):1147. doi: 10.1038/s41594-022-00900-w. PMID: 36482251.
- Wade M. (2015). High-Throughput Silencing Using the CRISPR-Cas9 System: A Review of the Benefits and Challenges. *J Biomol Screen*. 2015 Sep;20(8):1027-39. doi: 10.1177/1087057115587916. Epub 2015 May 22. PMID: 26001564.
- Waldert, S. (2016). Invasive vs. non-invasive neuronal signals for brain-machine interfaces: Will one prevail? *Frontiers in Neuroscience*, 10, 295. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00295>
- Wang LY, Guo J, Cao W, Zhang M, He J, Li Z. (2018). Integrated sequencing of exome and mRNA of large-sized single cells. *Sci Rep*. 2018 Jan 10;8(1):384. doi: 10.1038/s41598-017-18730-y. PMID: 29321653; PMCID: PMC5762704.
- Wang, T., Wei, J. J., Sabatini, D. M., & Lander, E. S. (2014). Genetic screens in human cells using the CRISPR-Cas9 system. *Science*, 343(6166), 80–84. <https://doi.org/10.1126/science.1246981>
- Zhang D, Hussain A, Manghwar H, Xie K, Xie S, Zhao S, Larkin RM, Qing P, Jin S, Tirosh-Samuels, H. (2018). In pursuit of perfection: The misguided transhumanist vision. *Theology and Science*, 16(2), 200–222. <https://doi.org/10.1080/14746700.2018.1463659>

Bibliografía recomendada:

- Alonso, M., Anomaly, J., Savulescu, J. (2020). "Gene Editing: Medicine or Enhancement". *Ramon Llull Journal of Applied Ethics*, 11, pp. 259-276.
- Anzalone, A. V., et. al. (2019). "Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA". *Nature*, 576, pp. 149-157.
- Baylis, F., Darnovsky, M., Hasson, K., Krahn, T. M. (2020). "Human Germline and Heritable Genome Editing: The Global Policy Landscape". *The CRISPR Journal*, 3(5), pp. 365-377.
- Bernardo-Álvarez, MA (2017). "La revolución de CRISPR-Cas9: una aproximación a la edición genómica desde la bioética y los derechos humanos". *Revista Iberoamericana de Bioética*, 3, pp. 1-13.

- Janssens, ACJW (2016). "Designing babies through gene editing: science or science fiction?". *Genetics in Medicine*, 18(12), pp. 1186-1187.
- Chadwick, R. (2009). "Therapy, Enhancement and Improvement". In Gordijn, B., Chadwick, R. (Eds.), *Medical Enhancement and Posthumanity*. Dordrecht, Springer, pp. 25-37.
- European Group on Ethics in Science and New Technologies (2021). "Opinion on Ethics of Genome Editing". Publications Office of the European Union. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/06d9879f7-8c55-11eb-b85c-01aa75ed71a1> [Last consultation: May 02 2023].
- Ferreira, P., Choupina, AB (2022). "CRISPR/Cas9 a simple, inexpensive and effective technique for gene editing". *Molecular Biology Reports*, 49, pp. 7079-7086.
- Greely, H. T. (2019). "CRISPR'd babies: human germline genome editing in the `He Jiankui affair'". *Journal of Law and the Biosciences*, 6(1), pp. 111-183.
- Hamzelou, J. (2023). "More than 200 people have been treated with experimental CRISPR therapies". *MIT Technology Review*. Available: <https://www.technologyreview.com/2023/03/10/1069619/more-than-200-people-treated-with-experimental-crispr-therapies/> [Last consultation: May 02 2023].
- Ishii, T. (2017). "Germ line genome editing in clinics: the approaches, objectives and global society". *Briefings in Functional Genomics*, 16(1), pp. 46-56.
- Payán Ellacuria, E., Romeo Casabona, C. M. (2021). "Inmortalidad y transhumanismo". En Romeo Casabona, C. M. (Coord.), *Tratado de Derecho y Envejecimiento: la adaptación del derecho a la nueva longevidad*. Madrid, Wolters Kluwer, pp. 881-916.
- Postigo Solana, E. (2021). "Transhumanismo, mejoramiento humano y desafíos bioéticos de las tecnologías emergentes para el siglo XXI". *Cuadernos de Bioética*, 32(105), pp. 133-139.
- Rey, O. (2019). *Engaño y daño del transhumanismo*. Madrid, Homo Legens.
- Rodríguez López, B. (2011). "Qué hijos tener. Libertad procreativa, autonomía parental y principio del daño". *Télos. Revista Iberoamericana de Estudios Utilitaristas*, 18(1-2), pp. 127-151.
- Rubeis, G., Steger, F. (2018). Risks and benefits of human germline genome editing: An ethical analysis. *Asian Bioethics Review*, 10(2), pp. 133-141.
- Savulescu, J., Singer, P. (2019). "An ethical pathway for gene editing". *Bioethics*, 33(2), pp. 221-222.
- Sorgner, S. L. (2018). "Genes, CRISPR/Cas9, and Posthumans". In Sinaci, M., Sorgner, S. L. (Eds.), *Ethics of Emerging Biotechnologies: From Educating the Young to Engineering Posthumans*. Budapest, Trivent Publishing.
- Soutullo, D. (2000). *Los genes y el futuro humano*. Madrid, Talasa.
- Willmott, C. (2022). "The science of transhumanism: Are we nearly there?". *Mètode Science Studies Journal*, (12), pp. 161-167.