

El control humano sobre los procesos biológicos: avances, beneficios y riesgos de la manipulación genética

Yolanda Elizabeth Morales-García^{1,2} **iD**, María Rosete Enríquez¹ **iD**, Luisa Renata López Lobato³ **iD**, Jesús Mauricio Muñoz-Morales^{4*} **iD**, Ximena Gordillo-Ibarra^{4**} **iD**

¹Grupo "Ecology and Survival of Microorganisms", Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. ²Grupo Inoculantes Microbianos, Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. ³Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. ⁴Alianzas y Tendencias BUAP, Puebla, México.

Email de autores para correspondencia: *mauricio.munoz@aytbuap.mx; **ximena.gordillo@aytbuap.mx

Recibido: 24 marzo 2025. **Aceptado:** 30 marzo 2025

RESUMEN

La manipulación genética ha revolucionado la ciencia biológica, permitiendo un control sin precedentes sobre la vida a nivel molecular. Este avance ha sido clave en la medicina, la agricultura, la microbiología y la biotecnología industrial, con beneficios que van desde la erradicación de enfermedades hasta la producción de cultivos más resistentes. Sin embargo, la capacidad de modificar el ADN también plantea preocupaciones éticas y riesgos potenciales, como la posibilidad de usos indebidos con fines eugenésicos o comerciales. Este manuscrito explora el equilibrio entre el progreso científico y la responsabilidad ética en la manipulación genética, analizando tanto sus aplicaciones beneficiosas como las amenazas que podrían derivarse de un uso irresponsable.

Palabras clave: Manipulación genética; edición genética; CRISPR-Cas; OGMs; responsabilidad ética.

ABSTRACT

Genetic manipulation has revolutionized biological science, enabling unprecedented control over life at the molecular level. This advancement has been pivotal in medicine, agriculture, microbiology, and industrial biotechnology, with benefits ranging from disease eradication to the development of more resilient crops. However, the ability to modify DNA also raises ethical concerns and potential risks, such as the possibility of misuse for eugenic or commercial purposes. This manuscript explores the balance between scientific progress and ethical responsibility in genetic manipulation, analyzing both its beneficial applications and the threats that could arise from irresponsible use.

Keywords: Genetic manipulation; gene editing; CRISPR-Cas; GMOs; ethical responsibility.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de modificar el ácido desoxirribonucleico (ADN) ha sido una de las innovaciones más disruptivas en la historia de la ciencia [1, 2]. A lo largo del siglo XX, los avances en genética y biotecnología han permitido a los científicos no solo comprender los mecanismos de la vida a nivel molecular, sino también alterarlos con precisión [3-5]. La edición genética mediante técnicas como CRISPR-Cas9 ha abierto la posibilidad de corregir enfermedades genéticas, mejorar la producción de alimentos y desarrollar nuevas terapias médicas [6, 7]. No obstante, el poder de modificar la información genética también conlleva dilemas éticos y posibles consecuencias negativas [8]. La portada de *Alianzas y Tendencias BUAP 10(37)* es una representación artística de una mano sosteniendo una doble hélice de ADN que simboliza este dominio humano sobre la biología, pero también sugiere el peligro de manipular la vida sin una regulación adecuada (Figura 1). El color rojo en la imagen puede interpretarse como una advertencia sobre los riesgos que esta tecnología implica si se usa con fines inapropiados. Este manuscrito aborda de forma breve, los avances en manipulación genética, sus aplicaciones beneficiosas y los peligros asociados con su uso indebido.

Avances en manipulación genética

La manipulación del ADN ha experimentado

una evolución acelerada gracias a herramientas biotecnológicas innovadoras [9]. Desde la clonación hasta la edición genética de precisión [10, 11], los científicos han desarrollado métodos que permiten modificar organismos vivos con una exactitud sin precedentes [12]. La técnica CRISPR-Cas9 ha revolucionado este campo, al permitir ediciones específicas en el genoma de manera rápida y accesible [13, 14]. Otros avances incluyen la terapia génica, que busca corregir enfermedades hereditarias [15], y la biología sintética, que permite la creación de organismos con funciones nuevas [16, 17]; capaces de realizar funciones específicas, como la producción de bioplásticos y la degradación de contaminantes [18, 19]. Además, se ha logrado la clonación de especies en peligro de extinción con el fin de preservar la biodiversidad [20]. Estos avances han ampliado las fronteras de la biotecnología y han sentado las bases para futuras aplicaciones en salud, ecología e industria. Sin embargo, estas innovaciones también presentan desafíos éticos y regulatorios, ya que el mal uso de estas tecnologías podría llevar a la explotación comercial de organismos genéticamente modificados sin una adecuada supervisión [2, 21, 22]. La creación de regulaciones globales es clave para garantizar que los avances en manipulación genética se utilicen de manera ética y sostenible [23].



Figura 1. Representación artística de la manipulación genética que actualmente puede llevar a cabo el humano.

<https://www.aytbuap.mx/aytbuap-1037/portada-1037>

Beneficios de la manipulación genética

El control genético ha permitido avances significativos en diversas áreas. En medicina, la terapia génica ha sido clave para tratar enfermedades como la fibrosis quística [24] y algunos tipos de ceguera hereditaria [25]. La medicina personalizada, basada en la modificación genética [26-28], ha permitido desarrollar tratamientos adaptados a la composición genética individual de los pacientes, mejorando la eficacia de las terapias y reduciendo los efectos secundarios. En la agricultura, la modificación genética ha

mejorado la resistencia de cultivos a plagas y condiciones climáticas adversas, reduciendo la necesidad de pesticidas y aumentando el rendimiento de los cultivos [16]. Además, se han desarrollado cultivos biofortificados que contienen mayores niveles de nutrientes esenciales, lo que ha ayudado a combatir la desnutrición en diversas regiones del mundo [29]. En la industria, los microorganismos modificados genéticamente se utilizan para producir biocombustibles, enzimas y medicamentos [30], reduciendo la dependencia de recursos fósiles y contribuyendo a un

modelo más sustentable. La producción de insulina recombinante es un ejemplo exitoso de la biotecnología aplicada a la salud [31], ya que ha permitido fabricar este medicamento de manera eficiente y a gran escala. Estos avances representan beneficios tangibles para la humanidad, pero también requieren una discusión sobre su regulación y aplicación ética, asegurando que las mejoras científicas sean accesibles y equitativas [32, 33].

Riesgos y dilemas éticos

A pesar de sus beneficios, la manipulación genética plantea riesgos significativos. La posibilidad de editar genes en embriones humanos abre la puerta a la eugenesia y a la creación de "bebés de diseño" [34-36], lo que podría aumentar la desigualdad social y generar problemas éticos complejos. La selección genética para atributos físicos o intelectuales podría llevar a la discriminación genética y a una división aún mayor entre diferentes sectores de la sociedad [37, 38]. Además, los organismos genéticamente modificados (OGM) pueden tener impactos ecológicos imprevistos, como la disrupción de ecosistemas y la aparición de nuevas plagas resistentes [39, 40]. En la agricultura, el uso excesivo de cultivos transgénicos ha generado preocupaciones sobre la reducción de la biodiversidad y la dependencia de los agricultores a corporaciones que controlan las semillas genéticamente modificadas [41, 42]. Por otro lado, la liberación de organismos sintéticos en el medio ambiente sin estudios adecuados podría causar efectos negativos irreversibles en los

ecosistemas naturales [41]. La regulación internacional es fundamental para evitar estos problemas y garantizar que la biotecnología se utilice de manera responsable. Es necesario establecer marcos legales que limiten el uso de la edición genética en humanos y promuevan la investigación responsable en este campo, priorizando el bienestar de la sociedad y la conservación del equilibrio ecológico.

CONCLUSIONES

El control humano sobre los procesos biológicos ha generado avances notables en la ciencia, con aplicaciones que han mejorado la calidad de vida de millones de personas. Sin embargo, también es fundamental reconocer y mitigar los riesgos asociados a la manipulación genética. La representación artística de la mano sosteniendo una molécula de ADN nos recuerda que, aunque el poder de modificar la vida es inmenso, también conlleva una gran responsabilidad. Es esencial que la ciencia y la regulación avancen de la mano, garantizando que la manipulación genética sea utilizada con fines éticos y en beneficio de toda la humanidad. La educación y la divulgación científica son herramientas clave para sensibilizar a la sociedad sobre el impacto de la biotecnología y fomentar un debate informado sobre su futuro. En última instancia, el desarrollo de la manipulación genética debe estar guiado por principios éticos sólidos y un compromiso con la equidad y la sostenibilidad global.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no tienen ningún conflicto de intereses con el contenido de este manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

A la VIEP-BUAP por el apoyo para llevar a cabo nuestras investigaciones. También agradecemos a la Dirección Internacionalización de la Investigación de la BUAP, quienes amablemente nos apoyan para que el conocimiento rebase las fronteras nacionales.

REFERENCIAS

- [1]. Prado JV, Ortiz CC, Villa VN. Estrategia de enseñanza de Biología Molecular para la edición genética *In Silico*: Una experiencia disruptiva. *Rev Ciencias Pedagógicas e Innovación*. 2023 Jun 28;11(1 SE-Artículos científicos). Disponible en: <https://incyt.upse.edu.ec/pedagogia/revistas/index.php/rcpi/article/view/684>
- [2]. Pons Rafols X. Biología sintética y derecho internacional: débiles consensos ante desafíos inmensos. *Rev Española Derecho Int*. 2021 Mar 28;73(2):311–36. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/27074029>
- [3]. Ausländer S, Ausländer D, Fussenegger M. Synthetic Biology—The Synthesis of Biology. *Angew Chemie Int Ed*. 2017 Jun 1;56(23):6396–419. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201609229?msocid=2fa08a48afb36a8f2b698477ae916bb5>

- [4]. Aminian-Dehkordi J, Rahimi S, Golzar-Ahmadi M, Singh A, Lopez J, Ledesma-Amaro R, *et al.* Synthetic biology tools for environmental protection. *Biotechnol Adv*. 2023;68:108239. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975023001465>
- [5]. Robson Marsden H, Kros A. Self-Assembly of Coiled Coils in Synthetic Biology: Inspiration and Progress. *Angew Chemie Int Ed*. 2010 Apr 12;49(17):2988–3005. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.200904943?msocid=2fa08a48afb36a8f2b698477ae916bb5>
- [6]. Gupta RM, Musunuru K. Expanding the genetic editing tool kit: ZFNs, TALENs, and CRISPR-Cas9. *J Clin Invest*. 2014 Oct 1;124(10):4154–61. Disponible en: <https://www.jci.org/articles/view/72992>
- [7.] Jacinto F V, Link W, Ferreira BI. CRISPR/Cas9-mediated genome editing: From basic research to translational medicine. *J Cell Mol Med*. 2020 Apr 1;24(7):3766–78. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcmm.14916>
- [8]. Gostimskaya I. CRISPR–Cas9: A History of Its Discovery and Ethical Considerations of Its Use in Genome Editing. *Biochem*. 2022;87(8):777–88. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0006297922080090>
- [9]. Moon S Bin, Kim DY, Ko J-H, Kim Y-S. Recent advances in the CRISPR genome

editing tool set. *Exp Mol Med.* 2019;51(11):1–11. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s12276-019-0339-7>

[10]. Cohen SN. DNA cloning: A personal view after 40 years. *Proc Natl Acad Sci.* 2013 Sep 24;110(39):15521–9. Disponible en: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1313397110>

[11]. Zheng Y, Li Y, Zhou K, Li T, VanDusen NJ, Hua Y. Precise genome-editing in human diseases: mechanisms, strategies and applications. *Signal Transduct Target Ther.* 2024;9(1):47. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41392-024-01750-2>

[12]. Paix A, Folkmann A, Goldman DH, Kulaga H, Grzelak MJ, Rasoloson D, *et al.* Precision genome editing using synthesis-dependent repair of Cas9-induced DNA breaks. *Proc Natl Acad Sci.* 2017 Dec 12;114(50):E10745–54. Disponible en: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1711979114>

[13]. Savić N, Schwank G. Advances in therapeutic CRISPR/Cas9 genome editing. *Transl Res.* 2016;168:15–21. Disponible en: [https://www.translationalres.com/article/S1931-5244\(15\)00332-1/fulltext](https://www.translationalres.com/article/S1931-5244(15)00332-1/fulltext)

[14]. Kim D, Alptekin B, Budak H. CRISPR/Cas9 genome editing in wheat. *Funct Integr Genomics.* 2018;18(1):31–41. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10142-017-0572-x>

[15]. Dunbar CE, High KA, Joung JK, Kohn DB, Ozawa K, Sadelain M. Gene therapy comes of age. *Science.* 2018 Jan 12;359(6372):eaan4672. Disponible en: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aan4672>

16. Pixley K V, Falck-Zepeda JB, Giller KE, Glenna LL, Gould F, Mallory-Smith CA, *et al.* Genome Editing, Gene Drives, and Synthetic Biology: Will They Contribute to Disease-Resistant Crops, and Who Will Benefit? *Annu Rev Phytopathol.* 2019;57(Volume 57, 2019):165–88. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31150590/>

[17]. Zhang X, Lin Y, Wu Q, Wang Y, Chen G-Q. Synthetic Biology and Genome-Editing Tools for Improving PHA Metabolic Engineering. *Trends Biotechnol.* 2020 Jul 1;38(7):689–700. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167779919302446>

[18]. Nawaz T, Gu L, Hu Z, Fahad S, Saud S, Zhou R. Advancements in Synthetic Biology for Enhancing Cyanobacterial Capabilities in Sustainable Plastic Production: A Green Horizon Perspective. Vol. 5, *Fuels.* 2024. p. 394–438. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2673-3994/5/3/23>

[19]. Xiang L, Li G, Wen L, Su C, Liu Y, Tang H, *et al.* Biodegradation of aromatic pollutants meets synthetic biology. *Synth Syst Biotechnol.* 2021;6(3):153–62. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405805X21000338>

[20]. Iqbal A, Ping J, Ali S, Zhen G, Kang JZ,

Yi PZ, *et al.* Conservation of endangered species through somatic cell nuclear transfer (SCNT). *Conserv Genet Resour.* 2021;13(3):349–57. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12668-021-01204-9>

[21]. Fatollahi Arani S, Zeinoddini M. Gene editing: biosecurity challenges and risks. *J-Police-Med.* 2023 Apr 1;12(1):1–19. Disponible en: <https://jpmed.ir/article-1-1171-en.html>

[22]. Melin A. Overstatements and Understatements in the Debate on Synthetic Biology, Bioterrorism and Ethics. *Front Bioeng Biotechnol.* 2021;9. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.703735>

[23]. Li J, Zhao H, Zheng L, An W. Advances in Synthetic Biology and Biosafety Governance. *Front Bioeng Biotechnol.* 2021;9. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.598087>

[24]. Sui H, Xu X, Su Y, Gong Z, Yao M, Liu X, *et al.* Gene therapy for cystic fibrosis: Challenges and prospects. *Front Pharmacol.* 2022;13. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1015926>

[25]. Cideciyan A V, Aleman TS. Gene therapy for young children with congenital blindness. *Lancet.* 2025 Feb 22;405(10479):601–3. Disponible en: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(25\)00232-6/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(25)00232-6/abstract)

[26]. Chaytow H, Faller KME, Huang Y-T, Gillingwater TH. Spinal muscular atrophy: From approved therapies to future therapeutic

targets for personalized medicine. *Cell Reports Med.* 2021 Jul 20;2(7). Disponible en: [https://www.cell.com/cell-reports-medicine/fulltext/S2666-3791\(21\)00195-6](https://www.cell.com/cell-reports-medicine/fulltext/S2666-3791(21)00195-6)

[27]. Caddeo A, Romeo S. Precision medicine and nucleotide-based therapeutics to treat steatotic liver disease. *Clin Mol Hepatol.* 2025 Feb;31(Suppl):S76–93. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39103998/>

[28]. Knowles JK, Helbig I, Metcalf CS, Lubbers LS, Isom LL, Demarest S, *et al.* Precision medicine for genetic epilepsy on the horizon: Recent advances, present challenges, and suggestions for continued progress. *Epilepsia.* 2022 Oct 1;63(10):2461–75. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/epi.17332>

[29]. Sandhu R, Chaudhary N, Bindia, Shams R, Singh K, Pandey VK. A critical review on integrating bio fortification in crops for sustainable agricultural development and nutritional security. *J Agric Food Res.* 2023;14:100830. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266615432300337X>

[30]. Ahmed S. Genetic Modification of Microorganisms: Applications in Industry and Medicine. *Front Biotechnol Genet.* 2024;1(01):72–87. Disponible en: <https://sprcopen.org/FBG/article/view/71>

[31]. Kaki SB, Naga Prasad A, Chintagunta AD, Dirisala VR, Sampath Kumar NS, Naidu SJK, *et al.* Industrial Scale Production of Recombinant Human Insulin using *Escherichia*

coli BL-21. Iran J Sci Technol Trans A Sci. 2022;46(2):373–83. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40995-022-01269-7>

[32]. Shams A, Fischer A, Bodnar A, Kliegman M. Perspectives on Genetically Engineered Microorganisms and Their Regulation in the United States. ACS Synth Biol. 2024 May 17;13(5):1412–23. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssynbio.4c00048>

[33]. Watson J. Synthetic Biology: State Regulation in the Biomedical Context. Am J Law Med. 2022;48(4):447–68. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37039757/>

[34]. Dev SI. Is it morally justified to create disabled designer babies? Jindal Glob Law Rev. 2021;12(2):311–35. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41020-021-00152-7>

[35]. Khairatun Hisan U, Romero CB. Designer Babies are No Longer Science Fiction: What are The Ethical Considerations?. Bincang Sains dan Teknol. 2023 Oct 19;2(03 SE-Articles):124–32. Disponible en: <https://journal.iistr.org/index.php/BST/article/view/437>

[36]. CEYHAN B. Ethical Limits of Academicians in Europe to Genetic Practices and Eugenics: Case Study. Turkiye Klin J Med Ethics-Law Hist. 2024;32(2):116–22. Disponible en: <https://www.turkiyeklinikleri.com/article/en-ethical-limits-of-academicians-in-europe-to-genetic-practices-and-eugenics-case-study->

[107617.html](https://doi.org/10.1007/s40995-022-01269-7)

[37]. Kim H, Ho CWL, Ho C-H, Athira PS, Kato K, De Castro L, *et al.* Genetic discrimination: introducing the Asian perspective to the debate. npj Genomic Med. 2021;6(1):54. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41525-021-00218-4>

[38]. Arjunan A, Darnes DR, Sagaser KG, Svenson AB. Addressing Reproductive Healthcare Disparities through Equitable Carrier Screening: Medical Racism and Genetic Discrimination in United States' History Highlights the Needs for Change in Obstetrical Genetics Care. Vol. 12, Societies. 2022. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4698/12/2/33>

[39]. Haris M, Muhammad H, Ajmal N, Bashir H. Impacts of Genetically Modified Organisms (GMOs) on Environment and Agriculture: A Comprehensive Review. Trends Anim Plant Sci. 2023;2:9–16. Disponible en: <https://trendsaps.com/articles/2-0-9-16.pdf>

[40]. Ngongolo K, Mmbando GS. Necessities, environmental impact, and ecological sustainability of genetically modified (GM) crops. Discov Agric. 2025;3(1):29. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44279-025-00180-0>

[41]. Turnbull C, Lillemo M, Hvorslef-Eide TAK. Global Regulation of Genetically Modified Crops Amid the Gene Edited Crop Boom – A Review. Front Plant Sci. 2021;12. Disponible en:



<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630396>

[42]. Mueller NG, Flachs A. Domestication, crop breeding, and genetic modification are fundamentally different processes: implications for seed sovereignty and agrobiodiversity.

Agric Human Values. 2022;39(1):455–72.
Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10460-021-10265-3>