

EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA  
COLEGIO SANTO TOMÁS DE AQUINO

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA  
MODERNA

Modalidad: Proyecto de investigación en formato convencional

ANA SOFÍA RAMÍREZ BENÍTEZ

Director

LAURA NATALIA OSORIO HERRERA

Licenciada en Microbiología

BOGOTÁ, COLOMBIA

NOVIEMBRE, 2023

EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

COLEGIO SANTO TOMÁS DE AQUINO  
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

RECTOR DEL COLEGIO

Fr. Aldemar Valencia Hernández, O.P.

VICERRECTOR

Fr. Jaime Andrés Agudelo Parra, O.P.

SÍNDICO

Fr. César Augusto Quiñonez Molano, O.P.

MAESTRA DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Sonia Esperanza Gómez Rojas

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Laura Natalia Osorio Herrera

### Resumen

El avance de nuevas tecnologías durante las últimas décadas, como la herramienta de edición genética CRISPR/cas9, ha revolucionado el campo de la salud y la biomedicina. Adicionalmente es capaz de mejorar la calidad y la resistencia de los cultivos, esta herramienta CRISPR/cas9 también puede ser utilizada en la modificación de cultivos y productos orgánicos. Puesto en prueba en América Latina, con el objetivo de mejorar la resistencia y rendimiento de los cultivos. Sin embargo, existen preocupaciones sobre su uso inadecuado el cual podría tener consecuencias negativas. A pesar de las prohibiciones internacionales, la accesibilidad, el fácil manejo y la heterogeneidad de los códigos éticos dificultan su control. Se han propuesto guías para la distribución, investigación y desarrollo de esta tecnología, pero aún se debate sobre su regulación en diferentes regiones.

El objetivo de la investigación es determinar los avances producidos en la biomedicina moderna desde la implementación de CRISPR/cas9 y analizar su impacto. Se plantean objetivos específicos como identificar los cambios ocurridos con esta herramienta, valorar las consecuencias desde una perspectiva bioética y examinar los datos recopilados. En las conclusiones encontramos que, esta herramienta puede llegar a tener un impacto positivo en la biomedicina moderna siempre y cuando esté acompañada de regulaciones que la respalden y la responsabilidad de cada una de las personas que se asocian con esta.

Palabras clave: *Biotecnología, Biomedicina, CRISPR/cas9, Ingeniería genética*

### Abstract

The advancement of new technologies during the last decades, such as the CRISPR/cas9 gene editing tool, has revolutionized the field of health and biomedicine in recent years, the CRISPR/cas9 tool can also be used in the modification of crops and organic products. It has been tested in Latin America, with the aim of improving crop resistance and yields. However, there are concerns about its inappropriate use, which could have negative consequences. Despite international bans, accessibility, easy handling and heterogeneous ethical codes make it difficult to control. Guidelines have been proposed for the distribution, research and development of this technology, but there is still an ongoing debate about its regulation in different regions.

The objective of the research is to determine the advances produced in modern biomedicine since the implementation of CRISPR/cas9 and to analyze their impact. Specific objectives include identifying the changes that have occurred with this tool, assessing the consequences from a bioethical perspective and examining the data collected. In the conclusions, we found that this tool can have a positive impact on modern biomedicine as long as it is accompanied by regulations that support it and the responsibility of each of the people associated with it.

Keywords: *Biotechnology, Biomedicine, CRISPR/cas9, Genetic Engineering*

## Introducción

“En el futuro, creo que CRISPR/cas9 será como la electricidad. Será una tecnología fundamental que se utilizará en muchos aspectos de nuestras vidas”

- Jennifer Doudna, 2015.

Desde la década de 1950, la comunidad científica ha dedicado incansables esfuerzos para desentrañar los misterios de la genética molecular y descubrir formas de modificar el material genético. Sin embargo, fue sólo en los últimos años cuando emergió una nueva herramienta con una promesa revolucionaria en la edición de genes: CRISPR/cas9.

CRISPR/cas9 es una tecnología que tiene la capacidad de realizar modificaciones precisas en el ADN de cualquier organismo, abarcando desde bacterias hasta plantas, animales incluyendo seres humanos. Esta herramienta, desarrollada por la bioquímica Jennifer Doudna (2012) y su equipo, ha generado un gran entusiasmo y expectativas debido a su potencial para tratar enfermedades genéticas, mejorar rendimientos en agricultura y brindar un mayor entendimiento de los mecanismos de la vida.

El reconocimiento mundial a Doudna y su colaboradora, Emmanuelle Charpentier, por su trabajo en CRISPR-Cas9 ha sido indiscutible. Sin embargo, también ha surgido una disputa por las patentes relacionadas con esta tecnología, lo cual plantea un dilema entre el progreso científico y la monopolización. Este tema será abordado más adelante en el documento.

El objetivo implícito de este trabajo es identificar los impactos de la herramienta CRISPR/cas9 en la biotecnología moderna. Para lograrlo, se han establecido objetivos específicos que guiarán la investigación y proporcionarán detalles clave en el desarrollo del estudio. Además, existe un objetivo explícito de este documento, que es informar y concienciar a los lectores sobre este tema, el cual considero como el más importante para nuestro desarrollo como sociedad.

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Si bien el lenguaje utilizado en el documento puede no ser completamente accesible, debido a la necesidad de abordar conceptos científicos, se espera que las personas se sientan interesadas y encuentren inspiración para investigar por sí mismas. Asimismo, se espera que se realicen revisiones de los conceptos y del contexto histórico presentado en el marco teórico, abarcando temas como la biotecnología, CRISPR/cas9 y la ingeniería genética. Estos avances individuales pueden contribuir al desarrollo general del problema y generar un progreso significativo en la materia.

Este avance científico representa un hito para la humanidad, ya que puede llevarnos a un mayor conocimiento de la estructura del ADN y, a su vez, plantear nuevas soluciones para enfermedades y el desarrollo de medicamentos más avanzados.

En este documento, se ha implementado una metodología cualitativa basada en el análisis de distintos trabajos relacionados con el tema y sus variantes. El enfoque se ha desglosado desde conceptos más simples, como la aplicación de la biotecnología en cultivos y animales, hasta llegar a su implementación en seres humanos. De esta manera, se ha buscado comparar los impactos que esta herramienta podría tener, formulando conclusiones finales respaldadas por información complementaria, como leyes y patentes.

Es importante destacar que el presente estudio busca contribuir al avance del conocimiento y fomentar la reflexión sobre las implicaciones éticas y sociales que acompañan a la tecnología CRISPR/cas9. Al explorar sus aplicaciones y limitaciones, se espera generar un mayor entendimiento y una base sólida para futuras investigaciones y toma de decisiones informadas en este campo.

## Índice

Capítulo 1. Planteamiento problema.....	7
Pregunta problema .....	11
Objetivos.....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos .....	11
Justificación .....	11
Antecedentes específicos o investigativos .....	14
Capítulo 2. Marco teórico .....	18
2.1 Biomedicina .....	18
2.2 Biotecnología .....	20
2.3 Ingeniería genética.....	22
2.3.1CRISPR/cas9.....	23
Capítulo 3. Diseño metodológico de la investigación .....	24
3.1 Metodología y enfoque .....	28
3.2 Línea de investigación .....	32
3.3 Población y muestra.....	32
3.4 Técnica e instrumentos .....	33
Capítulo 4. Análisis de resultados .....	35
4.1 Panorama GENeral .....	36
3.1 Monopolio genético .....	42
3.1¿CRISPR/cas9?.....	45
Capítulo 5. Conclusiones .....	49
Referencias.....	50

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Índice figuras	
Figura 1 .....	21
Figura 2 .....	24
Índice tablas	
Tabla 1 .....	42
Índice anexos	
Árbol de problemas .....	58
Matriz estado del arte .....	59
Matriz referencias .....	66
Matriz categorías .....	69
Instrumentos .....	71

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

### Capítulo 1. Planteamiento del problema

Durante los últimos años el avance de nuevas tecnologías ha revolucionado el mundo, y específicamente en el área de la salud ya que ha permitido mejorar la calidad de vida de miles de personas, sin embargo, cada avance trae una consecuencia y esta no es la excepción de la herramienta de edición genética CRISPR/cas9. Como lo han indicado expertos de la organización International Bioethics Committee (IBC) al cierre de una reunión de la UNESCO en París publicaron el reporte “Updating its Reflection on the Human Genome and Human Rights.” en el que argumentan que: (International Bioethics Committee, 2015, como se citó en Agudelo Vélez & Martínez Sánchez, 2013, p.12) “La terapia genética podría ser un punto de inflexión en la historia de la medicina y la edición del genoma es sin duda una de las empresas más prometedoras de la ciencia por el bien de la humanidad”.

Pero este desarrollo puede repercutir de una manera negativa si se le da un inadecuado uso y especialmente al momento de editar la línea germinal (parafraseando la información de National Human Genome Research Institute, 2023, La línea germinal hace referencia a las células que dan origen a los óvulos y espermatozoides. Estas células a su vez brindan la información genética que pasa de generación en generación) traer consigo consecuencias hereditarias, Según las palabras de María et al.,(2021): a pesar de las prohibiciones internacionales normativas y de regulación el CRISPR/cas9 va a ser una herramienta imposible de controlar debido a su accesibilidad, bajo costo, simplicidad y a la heterogeneidad de los códigos éticos de diferentes regiones del mundo, no obstante, se han propuesto guías para la distribución, investigación y desarrollo de la tecnología que ofrecen una supervisión y vigilancia adecuada como lo hizo la IBC en una reunión sobre el genoma y los derechos humanos.

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

En 2015 las academias nacionales de ciencias, ingeniería y medicina de estados unidos (NASEM) hicieron una cumbre de edición genética internacional en la que invitaron a otras Corporaciones de China y Reino unido, en esta cumbre se estableció que se debería:

- 1) Mantener la investigación básica y preclínica en este campo con la exigencia de que, si se hiciera edición genética con embriones humanos tempranos o en células germinales, ninguna de ellas se utilice para conseguir un embarazo reproductivo.
- 2) Apoyar la investigación de edición genética en células somáticas siempre bajo el marco regulatorio de la terapia genética.
- 3) Rechazar por el momento la edición genética de la línea germinal humana, en tanto no exista una seguridad suficiente y amplio consenso social para llevarla a cabo.
- 4) Promover la creación de un foro permanente de debate sobre la edición genética en el que participen todos los interesados. (María et al., 2021, p.7)

Entre las posibilidades que nos ofrece esta herramienta se encuentra la forma de modificar cultivos y productos orgánicos, siendo así un procedimiento ampliamente conocido por los agricultores latinoamericanos ya que permite modificar ciertos cultivos para que sean más resistentes a entornos con condiciones que los pongan en peligro. Como lo señala la Cornell Alliance for Science:

- Los agricultores latinoamericanos se están asociando con científicos para desarrollar nuevas variedades de cultivos utilizando técnicas de edición de genes como CRISPR/Cas9 en un movimiento para ayudar a la región a desplegar su potencial como potencia mundial en la producción de alimentos. (Cornell *Alliance for Science*, 2020, como se citó en Chilebio, 2020)

Las alianzas que estos agricultores han realizado cobran lugar en el desarrollo de variedades de cultivo entre los que están papa, maíz, chile, cacao, algodón y más. Estos avances han ayudado a que en los últimos siglos esta herramienta se desarrolle con facilidad,

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

acompañado de financiación que algunos países le dan a esta herramienta y su investigación. desafortunadamente países como Bolivia, México y Perú siguen en debates éticos sobre el uso de la biotecnología lo que impide la ampliación de nuevas técnicas para el mejoramiento de cultivos que son generalmente usados en las dietas de las familias latinoamericanas, frente a la regulación las regiones están optando por regular los cultivos mediante tecnologías de fitomejoramiento basado en modificar genéticamente las plantas, siempre y cuando el producto final no contenga una secuencia extraña de ADN (ácido desoxirribonucleico) esto quiere decir que fue insertado desde fuera de la especie.

Esta herramienta es reconocida por ser una de las más económicas y con más precisión que otras técnicas como TALEN, por sus siglas en inglés “Transcription Activator-Like Effector Nuclease” ZFN o “Zink Finger Nuclease” pero su expansión sigue sin ser suficiente para que países como Colombia puedan tener acceso a esta herramienta lo que provoca que no sea muy popular entre las personas y que no logre tener un impacto considerable a pesar de que se haya descubierto hace poco más de una década, sin embargo, si existe un marco regulatorio actual relacionado con aspectos bioéticos entre los que se encuentran organizaciones que hablan sobre estos temas como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) por medio de convenios como el “convenio sobre la Diversidad Biológica” o en sus siglas “CDB” cuyo objetivo es: “la conservación de la diversidad biológica mediante el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos” (*CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA NACIONES UNIDAS, 1992*).

Así pues, para el presente proyecto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

### **Pregunta problema**

¿Cuál es el impacto de la herramienta CRISPR/cas9 y sus proyecciones a futuro en la biomedicina moderna?

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Determinar los avances producidos en la biomedicina moderna desde el momento de implementación de la herramienta CRISPR/cas9 por medio de recopilación y análisis de datos para poder entender su impacto en la misma.

#### **Objetivos específicos**

Identificar los cambios que se produjeron con la herramienta desde el momento de su implementación

Valorar las posibles consecuencias que trae el avance de la herramienta CRISPR/cas9 desde una perspectiva bioética

Examinar la información recopilada para determinar el impacto de la herramienta CRISPR/cas9 en la biomedicina moderna

### **Justificación**

A lo largo de los años, los seres humanos siempre han trabajado por el mejoramiento de la calidad en la vida humana, a causa de ello, la ciencia constantemente ha motivado el descubrimiento de una gran variedad de métodos que impulsan dicho mejoramiento desde

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

diferentes contextos, así mismo, hace un par de décadas se empezaron a descubrir herramientas más sofisticadas, efectivas y económicas que estimulan el perfeccionamiento de la misma, entre los cuales el principal y más trabajado es la biotecnología moderna.

En el texto titulado “La biotecnología” el consejo argentino para la información y desarrollo de la biotecnología (ArgenBio, 2021) Habla sobre el surgimiento de la biotecnología moderna la cual fue en los años 80´ y utiliza técnicas que en conjunto son denominadas como ingeniería genética. En 2012 Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier publicaron en “MasScience” (una asociación sin ánimo de lucro para promover y dar a conocer los descubrimientos de la ciencia) un trabajo de cómo el CRISPR/cas9 podía ser implementado como una nueva herramienta en la ingeniería genética. Desde ese momento Doudna y sus colaboradores han trabajado en el mejoramiento de esta nueva alternativa, siendo una cuestión que aún se sigue mejorando, y que por consiguiente trae asuntos a discusión de los cuales diversos comités de bioética de muchos países en los que esta herramienta parece ser una alternativa, se convierten en el foco de atención, ya que, puede traer efectos irreversibles si se le da un uso inadecuado. El CRISPR/Cas9 ha demostrado ser una herramienta útil en muchas áreas, desde las cuales repercute en el tratamiento de las enfermedades humanas. El gran interés que ha despertado, ha llevado a que en pocos años se haya avanzado muchísimo en el manejo de su funcionamiento y de sus aplicaciones prácticas. Resultando de especial interés conocer las afectaciones que puede tener está en el tratamiento de enfermedades genéticas hereditarias y trastornos adquiridos como la trisomía 21, hemofilia, cáncer, leucemia, distrofia muscular, SIDA, a partir de ahí, dar a conocer el amplio abanico de oportunidades y cambios significativos puede traer consigo esta herramienta, actualmente los gobiernos de los países principalmente los que son una potencia quieren liderar en temas de biotecnología ya que conocen que es lo que es

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

un área en constante desarrollo que impulsará no solo a la economía, sino también a cada ámbito social de un país completo generando avances en su población y una ventaja muy importante en temas de salud, biodiversidad y la resistencia de la misma ya que esta herramienta además de tener un foco de atención en la salud también es una importante ventana para cultivos y fabricación de alimentos , biodiversidad, plantas y animales transgénicos.

Esta investigación surge con el objetivo de explicar los impactos y los posibles efectos negativos que puede llegar a tener el CRISPR/cas9, para hacerlo se han planteado objetivos que se seguirán paso a paso para establecer un orden en la realización del trabajo, adicionalmente, se pretende hacer una recopilación de datos en revistas, documentos e investigaciones que brinden la información necesaria para lograr las metas que tiene este proyecto de investigación

Por consiguiente este trabajo quiere lograr que las personas que no son conocedoras ni de lo que es la biotecnología, edición genética, o el CRISPR/cas9 entiendan que es un tema del cual no se pueden aislar, puesto que dicho mecanismo de la mano con todo lo que comprende el campo de la biomedicina e ingeniería genética ayudara a cambiar por completo la percepción que se tiene del tratamiento de enfermedades y de estas en sí, adicionalmente, llevara a la ciencia al punto más alto de innovación ya que no es una herramienta que es útil únicamente en el campo de la medicina sino también en diversos países es utilizada para la agricultura, mejorando la resistencia de los cultivos cuando se enfrentan a climas extremos o plagas , si bien todo este alboroto de la ingeniería genética podría generar diversas reacciones entre la población por el simple hecho de querer cambiar nuestros genes y contando con la posibilidad de un mal manejo que desencadene cosas terribles como una alteración en la línea germinal, se debe entender que todos los descubrimientos científicos tienen sus ventajas y desventajas pero que con un correcto manejo y una debida regulación mediante leyes se le puede sacar el mejor provecho a este

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

descubrimiento, igualmente, educar para que vean que la ciencia no es algo estático, es algo que se presta para que cualquier persona que quiera pueda estudiar y hacer descubrimientos que sean útiles en la cotidianidad. Siempre teniendo en cuenta los factores éticos que trae cualquier descubrimiento y los impactos tanto negativos como positivos en la sociedad en la cual se va a aplicar

Este trabajo es conveniente para afianzar los conocimientos sobre la biotecnología e ingeniería genética, al igual que una de sus nuevas alternativas como lo es el CRISPR/cas9, así mismo, adicionar puntos de vista sobre la implementación de esta herramienta en la medicina, con el fin de proporcionar una información adicional y organizada sobre este tema, y así que en un futuro las personas que quieran investigar sobre algún tema que esté relacionado con el campo de la medicina, bioética, ingeniería genética, y biomedicina puedan tener esta información al alcance de sus manos

### **Antecedentes específicos o investigativos**

Por medio de una revisión bibliográfica y búsqueda minuciosa sobre la herramienta de edición genética “CRISPR/cas9” en repositorios de universidades y bibliotecas virtuales sobre ciencia y medicina y tomando como base doce artículos y proyectos de grado entre los años 2018-2021 que comprenden el tema a trabajar, necesarios para que el proyecto de grado pueda ser presentado, se seleccionaron cinco de estos escritos con el fin de llevar a cabo los antecedentes, entre los artículos elegidos están: “CRISPR como herramienta de edición genética y sus aplicaciones en la salud humana” (González B, 2018), el de (Mulet D, 2018) “¿SE PUEDE APLICAR EL SISTEMA CRISPR-Cas9 EN INMUNOTERAPIA?”. Beriain de M. (2019).

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

“Edición genómica, bioética y responsabilidad”. Flórez M. (2019). “CRISPR/Cas9 Y VIH (Virus de la Inmunodeficiencia Humana) (Virus de la Inmunodeficiencia Humana)”. (Jiménez & Carvajal-Campos, 2021). “Ingeniería genética contra estrés abiótico en cultivos neotropicales: osmolitos, factores de transcripción y CRISPR/Cas”

Por una parte, en este documento se exponen en orden cronológico cada uno de estos trabajos con su respectiva metodología, autores, año, conclusiones, objetivos generales y aportes para la investigación teniendo como tema principal el CRISPR/cas9, aspectos éticos, procedencia, aplicaciones, empleo y demás.

Inicialmente, se puede evidenciar en el trabajo investigativo, “CRISPR como herramienta de edición genética y sus aplicaciones en la salud humana” (González B, 2018) en el trabajo Gonzales determinó como objetivo general:” Demostrar el potencial terapéutico del sistema CRISPR/Cas9, así como su versatilidad” (González B, 2018, p.10) a partir de una metodología cualitativa con un método documental basado en una recopilación, selección de datos de documentos, revistas, libros, periódicos, bibliografías, etc.

Con esto concluyó que la herramienta es un mecanismo para modificar genéticamente organismos de una manera más fácil y eficaz siendo útil en una gran cantidad de ámbitos, no obstante, ésta deberá enfrentar desafíos para poder lograr una buena implementación; El gran interés que ha despertado ha llevado a que en pocos años se haya avanzado muchísimo en el conocimiento de su funcionamiento y de sus aplicaciones prácticas [...] No obstante para poder ver aplicado este sistema en humanos aún se deben superar una serie de obstáculos, ya que a los problemas éticos que supone la manipulación genética en humanos se debe sumar una serie de problemas prácticos (González B, 2018, p.16)

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Por otra parte, en su trabajo, Mulet D. (2018) “¿Se puede aplicar el sistema CRISPR/cas9 en la inmunoterapia?” Explica cómo el desarrollo de esta herramienta permite su uso en inmunoterapia o terapia biológica dirigida a estimular el sistema inmunitario y tratar enfermedades con un sistema inmunitario debilitado, como el VIH y el cáncer, teniendo como objetivo “Explorar su mecanismo de acción ante la infección por VIH” y “Explicar el funcionamiento de CRISPR-Cas9 y su evolución como herramienta de edición genética” (Mulet D, 2018, p.5). Con esto concluye que si bien esta herramienta tiene un potencial muy elevado se debe seguir desarrollando para superar los obstáculos y garantizar una completa seguridad en el momento de su implementación.

De igual manera, Mantilla. Y. (2019). “CRISPR/Cas9 Y VIH: ¿Es este sistema de edición genética la solución terapéutica para erradicar el virus?” Cuestiona si el CRISPR/cas9 podría llegar a ser una solución terapéutica para la enfermedad del VIH, abriendo campo a nuevas aplicaciones de la herramienta desde otro punto de vista y utilizando una búsqueda bibliográfica concluyó que;

La infección por el VIH representa una importante carga de morbimortalidad y sin lugar a duda, la edición genómica con CRISPR/Cas9 resultaría considerablemente útil en la terapia contra el VIH abriendo las puertas a nuevos horizontes que nos acercan más al día en que logremos erradicar esta enfermedad. (Mantilla. Y, 2019, p.20, 21)

En otro orden de ideas, Beriain de M. (2019). “¿Modificar o no modificar el genoma de nuestra descendencia? Algunos comentarios a raíz de la Declaración del Comité de Bioética de España sobre la edición genómica en humanos” se enfoca en la bioética al momento de implementación de la herramienta, una parte importante del tópico inicial, están directamente

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

ligadas si se quiere lograr una regulación y correcto uso de esta herramienta, su metodología se basa en una revisión bibliográfica, entre su conclusión destaca que.

Existe una postura contraria a la edición de genes humanos en la línea germinal que es universalmente aceptada. Ni los últimos informes elaborados por las instituciones de mayor prestigio, ni los encuentros científicos, ni los expertos en su conjunto comparten esta idea. Más bien al contrario, la apelación a una implantación progresiva de estas técnicas en el contexto de la reproducción humana se va abriendo camino progresivamente. (Berriain. M, 2019, p.73)

Finalmente, Carvajal. M, (2021). “Ingeniería genética contra estrés abiótico en cultivos neotropicales: osmolitos, factores de transcripción y CRISPR/Cas9” este artículo de revisión realiza un estudio acerca de las aplicaciones de la herramienta del CRISPR/cas9 enfocados en la agricultura, mencionando como las condiciones climáticas y el cambio climático antropogénico (Alteración que experimentan los diversos climas terrestres por el sobrecalentamiento causado al acumularse en la atmósfera ciertos gases emitidos cuando quemamos combustibles fósiles” (Castro.M, 2015, p.1) afecta a los cultivos y que para combatir los efectos que estos factores tienen es importante la utilización e implementación de técnicas biotecnológicas con el fin de erradicar estos problemas y fortalecer a los cultivos. No omite que se debe seguir cuidando el medio ambiente para inhibir el incremento del calentamiento climático. planteando la siguiente conclusión;

“A futuro, valdría la pena realizar experimentos de campo con plantas modificadas o editadas genéticamente en zonas afectadas por diferentes factores abióticos de países en los cuales se producen masivamente cultivos de origen neotropical.” (Carvajal. M, 2021, p.58).

Esto lo concluyó después de identificar que la mayoría de investigaciones relacionadas con el estrés abiótico (“Presencia de un factor externo, provocado por el medio ambiente

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

cambiante, entre otros factores, que ejerce una influencia negativa sobre su desarrollo óptimo”)

(*Estrés Abiótico En Las Plantas, Impacto En La Producción Agrícola Y Su Manejo*, 2022, párr.1)

se realizaban con plantas *in vitro* y que por esta razón, era necesario seguir investigando para poder observar el comportamiento de estas plantas en un escenario real.

## Capítulo 2. Marco teórico

La medicina, es un concepto amplio que se puede entender desde diferentes campos de investigación como los son la biomedicina, el tema principal de este documento. Con el fin de abordar la temática que se va a profundizar es necesario delimitar nuestro enfoque, en este sentido, el foco principal será el estudio de la herramienta de edición genética CRISPR/cas9, antes de llegar a la comprensión de esta técnica es necesario que se definan algunos conceptos claves para este estudio. Como categorías encontramos la Biomedicina, Biotecnología, ingeniería genética, las subcategorías de esta última son, CRISPR/cas9 y enzimas de restricción. La realización del marco teórico tiene como fin el acondicionamiento de la información científica necesaria para el entendimiento de este proyecto.

### 2.1 Biomedicina

La biomedicina surge en los años ochenta mediante el avance de la ciencia por el afán de mejorar la calidad de vida y aunque está en desarrollo se define como la base de la medicina la cual estudia todos los aspectos biológicos del cuerpo humano, se podría decir que es una lupa para entender a este mismo y los Fundamentos de la fenomenología médica como la muerte, la enfermedad, el envejecimiento, el dolor. Esta rama de la medicina se apoya principalmente en la biología y la química, menos en la física y la matemática. Se puede estudiar desde lo experimental, observacional o teórico, No obstante, la medicina es una ciencia de carácter observacional en su mayoría, así como la física está limitada por su capacidad de cambiar la

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

gravedad, la medicina lo está para ejecutar experimentos en humanos. Por esta razón, acuden a metodologías macro o microscópicas del fenómeno médico.

“La biomedicina se auxilia de la investigación mediante muestras aisladas de los organismos como lo son los tejidos, células, órganos, moléculas, por medio de modelos animales o incluso computacionales” (Latour.B, Woolgar.S, 1979, p. 19).

Este sería el objetivo de la biomedicina y su propio riesgo ya que el cambiar una parte de la vida y salud humana es algo que debe ser tomado muy cuidadosamente, por esta razón surge la ética del investigador. Desde la filosofía, Sócrates nos habla del alma como la que porta la inteligencia y responsabilidad moral, es decir, saber diferenciar entre lo que es bueno y lo malo, para que de esta forma sea el bien quien gobierne.

Sin duda la Filosofía no es la única que se preocupa de los alcances que este campo de investigación pueda llegar a tener cada avance trae una responsabilidad y es por esto que las normas de investigación, los juristas y documentos sobre esto no se quedan atrás; el primero del que se tiene registro es el *código de nüremberg*, en el cual se habla del consentimiento informado para llevar a cabo las investigaciones promulgado en 1947. La OMS (Organización Mundial de la Salud) junto con el CIOMS (Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas) dieron a conocer el documento de “PAUTAS ÉTICAS INTERNACIONALES PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA EN SERES HUMANOS” (OMS & CIOMS, 2002), habla de la Declaración Universal de Derechos Humanos. Esta establece las pautas para la investigación biomédica en humanos, ya que, no deberán violar ningún modelo ético universalmente aceptado.

En 1966 la Asamblea General aprobó el “Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos”. En el artículo 7 del mismo se establece que: "Nadie será sometido a torturas ni a

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

penas o tratos crueles, inhumanos o degradantes. En particular, nadie será sometido sin su libre consentimiento a experimentos médicos o científicos.” (*Pacto Internacional de Derechos Civiles Y Políticos*, 1976), por último, estas normas fueron revisadas en 1996 por el surgimiento del VIH (Virus de la Inmunodeficiencia Humana), este motivo hizo que hicieran ajustes en las Normas Éticas Internacionales para las Investigaciones Biomédicas en Sujetos Humanos, OPS/CIOMS) los cuales son:

Todas las investigaciones con humanos deben tener cuatro parámetros; 1. Respeto por las personas. 2. Beneficencia. 3. No maleficencia, y 4. Justicia.

### 2.2 Biotecnología

Ahora que se definió y entendió lo que es la biomedicina vamos a caracterizar los mecanismos utilizados para la experimentación y práctica de esta, como habíamos mencionado antes la biomedicina es como una lupa para entender el cuerpo humano pues la biotecnología pone en práctica la utilización de esos organismos vivos, ya sean, plantas, animales o microorganismos, con el fin de generar un producto que pueda beneficiar al ser humano, generalmente se piensa que estos beneficios solo pueden ser utilizados para la salud de las personas pero desde tiempos antiguos la biotecnología se utilizaba para la mejora de cultivos, haciendo una simple selección de los frutos más grandes y jugosos mejorándolos con el tiempo (véase en la figura 1). Este concepto adoptó el nombre de selección artificial.



**Figura.1** Evolución del teocintle al maíz moderno. [figura].  
*Nota: Doebley, J. (2003).*

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

“Podemos definir la biotecnología de los alimentos como la parcela que se ocupa, específicamente, de los procesos agroalimentarios. Si nos atenemos a esta definición, el hombre ha practicado la biotecnología de los alimentos desde los inicios de la civilización” (Romero. G, 2008, p. 7).

Después de hacer un recorrido por lo que es y puede llegar a ser la biotecnología de los alimentos, vamos a centrarnos en el tema de este proyecto el cual es: “la biotecnología y su aplicación en la medicina”. Uno de los objetivos de este conjunto de técnicas es el tratamiento de las enfermedades de carácter genético, no obstante, la idea es desarrollar tanto las técnicas que en lugar de ser un tratamiento se conviertan en una cura.

La palabra “Biotecnología” proviene del griego Bio que quiere decir vida y de téchne, conjunto de teorías y técnicas que impulsan el aprovechamiento del conocimiento científico, esta también se puede definir como:

“El uso integrado de la ingeniería, la bioquímica y la microbiología para conseguir la aplicación tecnológica de las capacidades de microorganismos, células de tejidos cultivados y sus partes” (Martínez. A, 2013, p. 23)

En el campo de la salud la mayoría de los materiales utilizados son de carácter biológico, por esta razón, la biotecnología tiene un amplio alcance en la investigación y experimentación para la creación de nuevas oportunidades de mejora para la calidad de vida de las personas.

### **2.3 Ingeniería genética**

Con el surgimiento de la biotecnología nace la ingeniería genética. Tiene como objetivo la modificación de los genes para la producción de proteínas, las cuales pueden tener un valor terapéutico en los organismos o como se mencionó antes pueden ser útiles al momento de

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

mejorar los cultivos. De una u otra forma con esta técnica se podrá reprogramar la cadena de ADN de cualquier organismo vivo con el fin de crear algo en específico en este caso cualquier proteína de interés, según Casa torres. J, 2008 para lograr el objetivo de generar una proteína de interés se necesitarán seguir algunos pasos, estos son:

- 1) Aislamiento del gen que codifica para la proteína de interés
- 2) Inserción del gen en un vector<sup>1</sup> adecuado
- 3) Transferencia del vector al organismo que lo va a hospedar
- 4) Selección de los OGM<sup>2</sup> que expresan el gen de interés
- 5) Caracterización del producto clonado
- 6) Producción de la proteína de interés en los organismos.

En cuanto a las preguntas que la ciencia acumula con el tiempo, muchas veces no son posibles de responder en un corto periodo de tiempo, no obstante, a medida que esta avanza esas preguntas van encontrando claridad y son más fáciles de responder, uno de los métodos que ha encontrado la biomedicina para la solución de la mayoría de las preguntas de carácter biológico es la ingeniería genética, por si fuera poco, esta trajo consigo preguntas y problemas nuevos. Se puede concluir que la investigación crea un ciclo de preguntas y respuestas y de eso se trata, lograr avanzar cada día y traer una solución a cada una de las problemáticas.

### 2.3.1 CRISPR/cas9

El CRISPR/cas9 se descubrió en 1987 al observar las secuencias de ADN de la bacteria *Escherichia coli* (*E-coli*), al hacer esto se percataron de secuencias repetidas de algunos

---

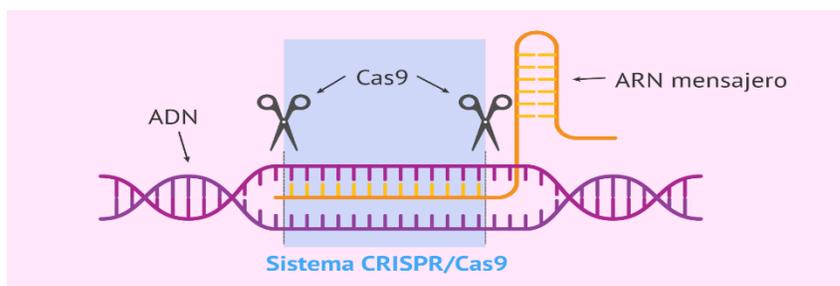
<sup>1</sup> Agente que transfiere la información genética o ADN recombinante (ADN modificado) de un organismo a otro (National Human Genome Research Institute, 2023, párr. 1)

<sup>2</sup> Organismos genéticamente modificados

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

nucleótidos<sup>3</sup>*Inicialmente* se creía que estas secuencias repetidas en la bacteria eran inservibles, posteriormente, descubrieron que eran un mecanismo de defensa contra los virus y que las repeticiones que se encuentran en la cadena de ADN coinciden con las de estos últimos. Esto quiere decir que las bacterias poseen algo como la “memoria” para que en el momento en el virus quiera infectar de nuevo, estas ya sepan cómo defenderse, replicando una parte de la secuencia en sí mismos y de esta forma volviéndose inmunes a ella.

Para entenderlo mejor partamos del significado del término “CRISPR/cas9” y de su procedencia, en realidad este concepto está compuesto de dos palabras. En primer lugar, tenemos el CRISPR o ARNcr (CRISPR RNA), el cual funciona como guía, identificando el fragmento de la cadena de ADN que se quiere modificar, en ese momento es donde la endonucleasa (enzimas capaces de cortar las cadenas de ADN) cas9 toma su lugar cortando las hebras de ADN (véase en la figura 2), para que de esta forma sea posible introducir otra secuencia en la cadena de ADN y modificarla. Los científicos crean la secuencia de ARN recombinante y lo dirigen donde quieren, Por esta razón, todas las patologías tratadas con este mecanismo deben tener un origen reconocido y de origen genético.



**Figura 2:** El sistema CRISPR/cas9. [Figura]. *Nota: Parra, L. (2020).*

<sup>3</sup> Unidad fundamental del ADN, compuesta de glucosa, fosfato y sus cuatro bases nitrogenadas (adenina, timina, citocina, guanina) en el caso del ARN se reemplaza la “timina” por el “uracilo” (National Human Genome Research Institute, 2023, párr. 1)

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Esta herramienta ha sido el foco de atención entre todas las biotecnologías hasta ahora existentes, ya que es un modelo económico, de fácil uso, con tasas de éxito y una precisión muy alta. En un principio esta herramienta se limitaba únicamente a silenciar partes de la cadena de ADN que no eran deseadas, ahora permite insertar, eliminar o generar mutaciones en esta misma.

### **Capítulo 3. Enfoque y diseño metodológico de la investigación**

Existen tres tipos de enfoque para la investigación científica los cuales son; cualitativo, cuantitativo y mixto y distintos tipos de metodología, en el presente proyecto de investigaciones se utilizará un enfoque de carácter cualitativo y una metodología explicativa no experimental. Entre las principales características de este método se puede mencionar que se enfoca en comprender planteamientos abiertos que después se van enfocando a un punto específico, dichos planteamientos se exploran desde la perspectiva de un ambiente natural, además, es importante aclarar que a diferencia del enfoque cuantitativo el enfoque cualitativo no se fundamenta en la estadística, a su vez, tiene una riqueza interpretativa y una contextualización del fenómeno como menciona Hernández. S, 2017. Así, el enfoque cualitativo se presenta como una estrategia de investigación fundamentada en una rigurosa descripción contextual del evento o situación, caracterizada por una objetividad al momento de dicha descripción, con el fin de que la correspondiente recogida de datos, caracterizados por una naturaleza posibilite el análisis y evaluación de estos mismos (Anguera. A, 1987, p.8).

Por consiguiente, para la realización de un enfoque cualitativo “son necesarios conocimientos sobre la subjetividad y el inconsciente, los significantes y los significados de las palabras y los signos [...] La metodología cualitativa es, pues, una forma multidisciplinar de acercarse al conocimiento de la realidad social.” (Ibáñez, 2002, p.38)

Según las palabras dichas por Sampieri 2017 (Metodología de la investigación-Sexta edición, p.7) establece que para la investigación cuantitativa en vez de dar una claridad a la hipótesis planteada mediante la recolección y el análisis de datos, los estudios cualitativos pueden plantear su hipótesis bien sea al inicio, durante o después de la recolección de datos, con

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

el fin de contrastar la información obtenida durante cada momento de la investigación y lograr hallazgos más cercanos a la realidad estudiada. Este proceso resulta ser muy flexible, ya que, estas actividades sirven para poner en evidencia las preguntas de investigación principales para perfeccionarlas y responderlas.

En el trabajo “Metodología de la investigación” se establecen las siguientes características del enfoque cualitativo:

- “Se plantea un problema, sin seguir un proceso definido, su planteamiento inicial no es tan específicos como en el enfoque cuantitativo y sus preguntas de investigación no siempre se conceptualizan por completo
- En lugar de iniciar con una teoría y después ir al lado empírica para comprobarla, se comienza examinando los hechos y después se desarrolla la teoría para representar lo visto esto quiere decir que este tipo de investigación se basa en una lógica y proceso inductivo que va de lo particular a lo general
- En la mayoría de los estudios cualitativos no se prueban hipótesis, sino que se generan durante el proceso y se perfeccionan conforme se recaban más datos; son un resultado del estudio” (Sampieri. R, 2017, p.17)

Por otra parte, en su artículo Ibáñez, 2002 hace una diferencia entre los dos enfoques y aclara que; “Podremos emplear la metodología cualitativa para investigar cualquier fenómeno relacionado con la realidad social, entre ellos la salud y la enfermedad.” (p.375), Dado que ninguna actividad humana escapa al lenguaje, se pueden utilizar métodos cualitativos

En salud se utiliza un método llamado grupos focales, que tiene algunas similitudes con los grupos de discusión, por otro lado, los grupos focales no tienen una lista de preguntas relacionadas con los objetivos. Suponiendo que los participantes conocen la respuesta al objetivo sin saber que la conocen, los moderadores deben iniciar presentaciones y hacer preguntas indirectas al grupo, obtener una respuesta racional o consciente después de adquirir la voz participante, el investigador debe analizar la información para interpretarla origen y significado.

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Por último, Anguera T sostiene que, “Metodológicamente, los datos cualitativos deben ofrecer profundidad y detalle, y emergen de una descripción y registro cuidadosos” (Patton, 1980, como se citó en Anguera, 1986, p. 22) y agrega que la categorización de estos datos juega un papel fundamental ya que para aspirar a una captación de la realidad se deben generar unas categorías que lo hagan explicable y coherente al flujo de los eventos contextualizados, el elemento clave diferencial entre estos dos enfoques dista en que desde la perspectiva cuantitativa interesa primordialmente la explicación derivada de una hipótesis dada, y desde la cualitativa importa la comprensión global de los fenómenos estudiados en su complejidad.

De esta forma para realizar el proyecto de grado de la forma más correcta es necesario describir la metodología a utilizar que en este caso será una metodología explicativa. Según las palabras de Fideas G. Arias, 2010. La metodología explicativa es aquella que se encarga de buscar el porqué de los hechos haciendo una relación entre la causa y el efecto del problema que se quiere abordar, en este caso la investigación explicativa:

Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados constituyen el nivel más profundo de conocimientos (Arias. F, 2011, p.5)

De acuerdo con Sampieri “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos” (Sampieri. R, 2017, p. 95), aclara que estos estudios están dirigidos a responder las causas de los eventos y fenómenos físicos o Alcances de investigación sociales ya que como su nombre lo indica este

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

método se centra en explicar un fenómeno, sus causas y por qué se relacionan las variables de este mismo, adicionalmente, los estudios explicativos contestan preguntas como;

¿Qué efectos tiene que x cosa haga tal otra?

¿Qué variables pueden dificultar los efectos y de qué modo?

¿Por qué ese x prefiere hacer tal cosa que tal otra?,

En la metodología explicativa los estudios son un poco más estructurados que en los estudios con

más alcances y de hecho implican muchas de las habilidades de estos métodos como (exploración, descripción y correlación o asociación).

Finalmente, Cristian Rusu realiza una breve descripción de lo que es la metodología explicativa, agregando qué, tiene como objetivo encontrar las razones o causas

que provocan ciertos eventos, sucesos y fenómenos, pretende explicar:

- “Porqué ocurre el fenómeno
- En qué condiciones
- Porque se relacionan dos o más variables aclarando que hace una descripción mejor estructurada que incluye propósitos de explotación, descripción y correlación” (Rusu.C, 2011, p.3)

### **3.1 Metodología y enfoque**

Existen tres tipos de enfoque para la investigación científica los cuales son; cualitativo, cuantitativo y mixto y distintos tipos de metodología, en el presente proyecto de investigaciones se utilizará un enfoque de carácter cualitativo y una metodología explicativa no experimental.

Entre las principales características de este método se puede mencionar que, se enfoca en comprender planteamientos abiertos que después se van enfocando a un punto específico, dichos planteamientos se exploran desde la perspectiva de un ambiente natural además es importante

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

aclarar que a diferencia del enfoque cuantitativo el enfoque cualitativo no se fundamenta en la estadística, a su vez, tiene una riqueza interpretativa y una contextualización del fenómeno como menciona (Hernández. S, 2017, p. 57). Así, el enfoque cualitativo se presenta como una estrategia de investigación fundamentada en una rigurosa descripción contextual del evento o situación, caracterizada por una objetividad al momento de dicha descripción, con el fin de que la correspondiente recogida de datos, caracterizados por una naturaleza facilite análisis y evaluación de estos mismos (Anguera. A, 1987, p.28). Por consiguiente, para la realización de un enfoque cualitativo “son necesarios conocimientos sobre la subjetividad y el inconsciente (psicoanálisis), los significantes y los significados de las palabras y los signos (lingüística, semiología), el sentido de los mismos (semántica), la interpretación de los símbolos (hermenéutica), la cultura (antropología), la percepción de la realidad (fenomenología) y sobre la sociedad (sociología)” (Pérez. C, p. 374)

Ampliando lo dicho por Sampieri (2017), establece que, para la investigación cuantitativa en vez de dar una claridad a la hipótesis planteada mediante la recolección y el análisis de datos, los estudios cualitativos pueden plantear su hipótesis bien sea al inicio, durante o después de la recolección de datos, con el fin de contrastar la información obtenida durante cada momento de la investigación y lograr hallazgos más cercanos a la realidad estudiada. este proceso resulta ser muy flexible, ya que, estas actividades sirven, primero, para poner en evidencia las preguntas de investigación principales para después perfeccionarlas y responderlas. EL enfoque cualitativo presenta las siguientes características

- Se plantea un problema, sin seguir un proceso definido, su planteamiento no es tan específicos como en el enfoque cuantitativo y sus preguntas de investigación no siempre se conceptualizan por completo

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

- En lugar de iniciar con una teoría y después ir al lado empírica para comprobarla, se comienza examinando los hechos y después se desarrolla la teoría para representar lo visto esto quiere decir que este tipo de investigación se basa en una lógica y proceso inductivo que va de lo particular a lo general

- En la mayoría de los estudios cualitativos no se prueban hipótesis, sino que se generan durante el proceso y se perfeccionan conforme se recaban más datos; son un resultado del estudio

Por otra parte en su artículo Pérez Cristina (2002) hace una diferencia entre los dos enfoques y aclara que; “En el terreno de las ciencias sociales se pueden estudiar tanto los hechos (desde el punto de vista de la frecuencia de su presentación, etcétera) de lo cual se encarga la metodología cuantitativa, como el sentido y la significación de las representaciones sociales y los discursos, de lo cual se encarga la metodología cualitativa” (p, 375), dado que ninguna actividad humana escapa del lenguaje se puede emplear el enfoque cualitativo para investigar cualquier fenómeno relacionado con un contexto y realidad social entre ellos la salud y la enfermedad. En el ámbito sanitario se utiliza algo llamado grupo focal que tiene varias semejanzas con el grupo de discusión, pero a su vez presenta algunas diferencias, ya que el grupo focal no consta con una lista de preguntas relacionadas con el objetivo de la investigación por que se hace un poco más semejante al enfoque cuantitativo ya que hace preguntas en búsqueda de las respuestas del grupo, por el contrario, en el grupo de discusión se asume que los participantes tienen las respuestas a los objetivos, sin saber que la tienen, el moderador debe iniciar un discurso entre el grupo e ir haciendo las preguntas indirectas para que sean respondidas de forma racional o consciente, tras obtener el discurso de los participantes el investigador deberá proceder a analizar la información y así interpretar su origen y sentido

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Por último Anguera T (1986) sostiene que, “Metodológicamente, los datos cualitativos deben ofrecer profundidad y detalle, y emergen de una descripción y registro cuidadosos aunque su contenido es variable y su análisis difícil debido a la nula estandarización de las respuestas y su compleja sistematización” (Anguera, T, p. 24) y agrega que la categorización de estos datos juega un papel fundamental ya que para aspirar a una captación de la realidad se deben generar unas categorías que lo hagan explicable y coherente al flujo de los eventos contextualizados, el elemento clave diferencial entre estos dos enfoques dista en que desde la perspectiva cuantitativa interesa primordialmente la explicación derivada de unas hipótesis dadas, y desde la cualitativa importa la comprensión global de los fenómenos estudiados en su complejidad

Ahora para realizar el proyecto de grado de la forma más correcta es necesario describir la metodología a utilizar que en este caso será una metodología explicativa. Según (Fidias G. Arias 2010) la metodología explicativa es aquella que se encarga de buscar el porqué de los hechos haciendo una relación entre la causa y el efecto del problema que se quiere abordar, “En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental)” (p. 26) todo esto mediante la prueba de la hipótesis. Sus resultados y conclusiones forman parte del nivel más profundo de conocimientos

De acuerdo con Sampieri “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos” (p. 95), aclara que estos estudios están dirigidos a responder las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales ya que como su nombre lo indica este método se centra en explicar un fenómeno, sus causas y por qué se relacionan las variables de este mismo, adicionalmente, los estudios

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

explicativos contestan preguntas como; ¿qué efectos tiene que x cosa hagan tal otra? ¿Qué variables mediatizan los efectos y de qué modo? ¿Por qué ese x prefiere hacer tal cosa que tal otra?, un ejemplo dado de una problemática real que la metodología explicativa pudiera realizar sería. ¿Qué usos dan los adolescentes al contenido sexual de los videos musicales? ¿Qué gratificaciones derivan de exponerse a los contenidos sexuales de los videos musicales?

A diferencia de un estudio descriptivo en el que solo se responderán preguntas como ¿cuánto tiempo dedican esos adolescentes a ver vídeos musicales y especialmente videos con alto contenido sexual? ¿En qué medida les interesa ver este tipo de videos? Ya que en la metodología explicativa los estudios son un poco más estructurados que en los estudios con más alcances y de hecho implican muchas de las habilidades de estos métodos como (exploración, descripción y correlación o asociación)

Finalmente, Cristian Rusu (2011) realiza una breve descripción de lo que es la metodología explicativa, agregando qué, tiene como objetivo encontrar las razones o causas que provocan ciertos eventos, sucesos y fenómenos, pretende explicar:

- Porqué ocurre el fenómeno
- En qué condiciones
- Por qué se relacionan dos o más variables

Aclarando que hace una descripción mejor estructurada que incluye propósitos de explotación, descripción y correlación

### **3.2 Línea de investigación**

San Alberto Magno: Tecnología, Innovación y Sostenibilidad Ciencias Exactas y Naturales

### **3.3 Población y muestra**

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

El presente proyecto de investigación si bien no trabaja con una población específica de personas pretende hacer una revisión bibliográfica de los tipos de artículos, estos pueden ser: de investigación, de revisión, perspectivas, informe, opinión, además de libros. Dicha bibliografía será extraída de la biblioteca virtual de la Fundación Universitaria Sanitas (FUS (Fundación Universitaria Sanitas)) la cual cuenta con diversos motores de búsqueda que contienen variedad de documentos como los mencionados anteriormente, cabe recalcar que dicha biblioteca cuenta únicamente con trabajos de rigor científico de diversas partes del mundo como Estados Unidos, Francia, Reino Unido, España, Australia, Alemania, México, entre otros, lo cual facilita el trabajo de investigación puesto que el objetivo principal es determinar los avances producto de la herramienta CRISPR/cas9 en la biomedicina moderna para entender sus impactos, para lo que se requiere examinar los documentos de diferentes países.

Para la muestra se trabajará sobre motores de búsqueda tanto de libre acceso como de pago. Dentro de los cuales están: PubMed, ClinicalKey, British Medical Journal (BMJ), Ovid, Biblioteca Virtual en Salud (BVS), SpringerLink, SciELO, la búsqueda se realizará mediante filtros como la fecha de publicación (entre los años 2018-2022), idioma (español o inglés) y tipo de artículo (Artículos de revisión, artículos de revisión sistemática, libros y documentos), buscando palabras clave para la investigación como lo son: bioética, CRISPR/cas9, avances, edición genética, terapia génica, biomedicina, entre otros.

### **3.4 Técnica e instrumentos**

En este fragmento evaluaremos y explicaremos cual es la mejor técnica e instrumentos para la recolección de datos teniendo en cuenta que la investigación tiene un enfoque de tipo cualitativo por lo tanto su instrumento deberá seguir la línea de este mismo pero para empezar a hablar de lo que vamos a realizar debemos entender que significa medir, según Stevens, 1951

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

medir es, “asignar números, símbolos o valores a las propiedades de objetos o eventos de acuerdo con reglas”, sin embargo, esta definición no aplica para todos los tipos de investigación ya que en muchas estos valores ni eventos existen y se podría asociar con la vinculación de conceptos abstractos con indicadores empíricos (Carmines y Zeller, 1991, p.34).

Para este trabajo de investigación la técnica de recolección de datos será la revisión documental, este es un método cualitativo que consiste en realizar una recopilación e investigación a través de diferentes fuentes documentales como los que se encuentran en la biblioteca de la Fundación Universitaria Sanitas (FUS) que es afín a nuestro trabajo de investigación ya que pretende examinar los impactos de la herramienta CRISPR/cas9 desde documentos de diversas partes del mundo. Para Machuca F para la revisión documental “es importante hacer una evaluación de los documentos que se utilizarán para recolectar datos y verificar su validez antes de utilizarlos. La revisión documental es una de las técnicas de recolección de datos que más requiere de profesionales con experiencia en el tema” (Machuca, 2021, p.3)

Como instrumento se utilizará la matriz, puesto que va acorde con la técnica a utilizar, es importante aclarar que para poder realizar una revisión bibliográfica es necesario hacer una recolección de los datos que se van a utilizar y hacer una evaluación de estos mismos. “La matriz de datos es la herramienta principal que permite el registro de los valores de las diferentes variables con un ordenamiento de la información fácilmente visible, a partir del cual ejecutar los diferentes análisis.” (Anónimo, 2022) adicionalmente a esto nos explica que tenemos que integrar esta matriz a nuestro problema de investigación ya que si únicamente formulamos variables esta no tendrá ninguna utilidad, por lo tanto, esta matriz nos será útil para consolidar los elementos que necesitemos para elaborar de

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

una mejor manera nuestra investigación, se conoce que este instrumento tiene algunas características como:

- Medir y evaluar el grado de relación (coherencia y conexión lógica) entre los elementos esenciales del protocolo de investigación. (“Boletín Científico: UAEH”)
- Presentar una visión panorámica de los principales elementos del proyecto de investigación
- Se elabora al inicio del proceso y se consolida después de terminar el diseño.

<i>Documento</i>	
<i>Datos bibliográficos</i>	
<i>Pregunta problema</i>	
<i>Palabras clave</i>	
<i>Datos principales</i>	
<i>Aportes a la investigación</i>	
<i>Conclusiones</i>	

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

### Capítulo 4. Análisis de resultados

En este capítulo se inspeccionarán, resaltarán y transformarán los datos recopilados en el capítulo anterior. Presentando una perspectiva analítica del tema a trabajar en este proyecto, posteriormente, se describirán los hallazgos encontrados. Todo esto con el fin de darle respuesta al objetivo general el cual es: Determinar los avances producidos en la biomedicina moderna desde el momento de implementación de la herramienta CRISPR/cas9 por medio de recopilación y análisis de datos para poder entender su impacto en la biomedicina moderna, esto mediante el desarrollo de los objetivos específicos. En el momento que se cumplan dichos objetivos se le podrá dar respuesta a la pregunta problema de: ¿Cuál es el impacto de la herramienta CRISPR/cas9 y sus proyecciones a futuro en la biomedicina moderna?

Es importante la elaboración de este capítulo para la revisión de los datos que se recolectaron durante todo el proyecto, será útil a su vez para sintetizar dichos datos y tener una visión más clara del trabajo realizado. Es necesario ejercer conexiones con los autores revisados anteriormente. De esta forma se facilitará y se tendrá la capacidad de discutir y hacer un examen objetivo del impacto de la herramienta CRISPR/cas9 en la biomedicina moderna. Los siguientes títulos son cada uno de los objetivos específicos planteados en el capítulo 1.

“Identificar los cambios que se produjeron con la herramienta desde el momento de su implementación”. Este se realizará una introducción sobre lo que es la biotecnología y las aplicaciones que tiene, como lo pueden ser la industria de producción, medicina, agricultura, alimentos, entre otros. Una revisión general del avance que ha tenido la biomedicina. Para responder preguntas de ¿cómo?, ¿por qué? y qué la ha cambiado.

“Valorar las posibles consecuencias que trae el avance de la herramienta CRISPR/cas9 desde una perspectiva bioética”, tendremos la oportunidad de ahondar en las utilidades que tiene

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

el CRISPR/cas9, a su vez, explorar la llamada “guerra de patentes” que se está viviendo, una lucha intelectual para saber quién se lleva los derechos de esta invención que podría traer como consecuencia una posible globalización.

Como último subcapítulo se encuentra el de “Examinar los datos recopilados para determinar el impacto de la herramienta CRISPR/cas9 en la biomedicina moderna”. En el que se mencionan algunas de las aplicaciones que puede tener la herramienta en la biomedicina, se expondrán temas como la modificación de fetos, tratamiento de enfermedades como VIH y alteración en la diversidad de los humanos.

### **4.1 Panorama GENERAL**

La biotecnología es una rama de la biología que tiene un auge a mitades del siglo XIX, desde la descripción hipotética del ADN en 1953 se comenzaron a perfeccionar las teorías mediante investigaciones que apuntaban a la identificación de genes, proteínas y cada una de sus funciones. De esta manera se empezaron a buscar las explicaciones biológicas a nivel molecular, según las palabras de Bisang & Campi (2009, p.11) de allí surgió el interés por el uso aplicado estos avances: la manipulación de los códigos del ADN de cada ser vivo, la posibilidad de clonar individuos, identificación de qué gen corresponde a qué rasgo (estructural y/o funcional).

El progreso de esta disciplina está directamente ligada con el desarrollo de la medicina, la ingeniería y la creación de tecnologías para su implementación en laboratorios. No obstante, esto no siempre ha sido así, la biotecnología no necesita un laboratorio para cumplir su más profunda finalidad, la cual, es el mejoramiento de la vida o la transformación de una materia prima mediante técnicas que involucren procesos biológicos, la biotecnología en la naturaleza no es algo nuevo y aún lo podemos evidenciar en nuestra vida cotidiana como en la fermentación de bebidas, fabricación de queso, yogures o incluso la producción de pan, es así que la

EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

biotecnología son las “técnicas que utilizan células vivas, cultivo de tejidos o moléculas derivadas de un organismo, por ejemplo, enzimas, para obtener o modificar un producto, mejorar una planta o un animal o desarrollar un microorganismo para utilizarlo con un propósito específico” (*Biotecnología, Su Importancia En La Producción Agropecuaria*, 2018, p.15 ), de esta definición podemos inferir que la biotecnología no solo trata de estudiar el cuerpo humano sino que tiene muchos más campos de acción, y antes de adentrarnos en la biomedicina, debemos poder entender qué otros impactos ha tenido la biotecnología en la vida de las personas.

“En el plano agrícola, el uso de las leyes de Mendel permitió contar con una guía -basada en el entrecruzamiento [...] Ello dio lugar a la mejora sustantiva, principalmente en el fitomejoramiento de las semillas” (Bisang & Campi, 2009, p.11), esta técnica se basa en el cruce de especies para mejorar sus características genotípicas, de esta forma, aumentar la resistencia y productividad de las semillas. “El neotrópico es una vasta región del continente americano caracterizada por su alta biodiversidad. Abarca desde las zonas costeras de Sinaloa y Baja California flanqueando el Golfo de California en Norteamérica, hasta Brasil en Sudamérica, e incluye las islas del Caribe” (Jiménez & Carvajal-Campos, 2021 como se citó en, Antonelli y Sanmartín, 2011, p. 13), esta región se caracteriza por tener una alta biodiversidad de plantas para uso agrícola como yuca, ñame, leguminosas, frijol, papa, tomate, algodón, maíz, entre otros. Estos cultivos suelen exportarse a otros lugares como India, Estados Unidos y China los cuales han alcanzado la mayor producción de estos alimentos según Jiménez & Carvajal-Campos, 2021, “Entre los años 2016 y 2017 se produjeron 58,49 millones de toneladas (MT) de tomate y 97,40 MT de papa, con lo que ese país ocupó el primer lugar en cuanto a producción mundial de esos cultivos. Con respecto al algodón, India fue el mayor productor en el mundo durante este período con 17,92 MT”.

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Aun cuando la producción es tan alta se ve una disminución y afectación la calidad de los frutos y a largo plazo la obtención de estos productos del calentamiento global y los factores abióticos como las temperaturas externas, salinidad del suelo, disposición de luz solar y sequias. Esto hace necesaria la utilización de biotecnología y herramientas de edición genética como el CRISPR/cas9 para disminuir costos como en abono, insecticidas y vitaminas para que las plantas puedan sobrevivir, esto hace que los mismos costos en el mercado mermen.

Los agricultores latinoamericanos se están asociando con científicos para desarrollar nuevas variedades de cultivos utilizando técnicas de edición de genes como CRISPR/Cas9 en un movimiento para ayudar a la región a desplegar su potencial como potencia mundial en la producción de alimentos. (Cornell Alliance for Science, 11 de diciembre, 2020.)

De esta forma distinguimos que estas técnicas ya están siendo utilizadas, por lo que los avances que se han estado mencionando no son algo lejano ni algo nuevo, en cambio es algo que se ha venido trabajando e implementando desde los años 90 ya que es en esta época según las palabras de Bisang & Campi, 2009 que aparecen más productos en el área farmacéutica a la vez que se inicia la aplicación crecientemente masiva a los cultivos (modificados genéticamente), a los alimentos y a la provisión de materias primas industriales

Otro de los proyectos innovadores que tiene que ver con la biotecnología es la obtención de energía mediante la fisión nuclear, apunta a una energía limpia para la disminución de desechos y contribución al ambiente, esto demuestra que los avances científicos y tecnológicos tienen una relación directa con el ámbito comercial, ahí es donde mayor cuidado hay que tener, ya que es algo que se está ofreciendo en el mercado, por ende se deben analizar qué uso le podrían llegar a dar las personas, cuáles son sus pros y contras. Como a inicios de los 80' cuando

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

se lanzaron al mercado los primeros medicamentos recombinantes (obtenidos a través de la biotecnología).

Además de ser utilizado en la producción, esta doctrina abre puertas para el desarrollo de la ciencia y sus conceptos básicos, de esta forma ampliando el conocimiento que se tiene sobre estos según Bisang & Campi, 2009, p.12:

El pasaje de una idea teórica a un producto final, implica una larga serie de pasos técnicos, en cada uno de los cuales es dable identificar subproductos (genes, servicios de secuenciamiento, test, servicios de bioinformática, cultivos, plásmidos, equipamiento específico –como los secuenciadores y/o los cañones génicos-) pasible de ser desarrollados en forma integrada o bien, en el marco de una red de intercambios de bienes y conocimiento.

Existen tres “avenidas” en las que la biotecnología produce avances sustantivos, las cuales son:

- El diseño de especies mediante la implementación de ingeniería genética, con la finalidad de mejorar sus funciones o dotarlas de nuevas, “En tal caso estamos en presencia de la transgenia, dado que las técnicas disponibles permiten incorporar genes de otras especies” (Bisang & Campi, 2009, p.13), para este proceso es necesario conocer los genes que se desean incorporar, la biología del receptor y el procedimiento que se va a utilizar.

- Profundización científica. Como se mencionaba anteriormente es de vital importancia conocer el funcionamiento molecular de los seres vivos, la mecánica de los patrones genéticos que desencadenan en la conducta de los seres vivos, las relaciones entre genes y proteínas y demás objetos de análisis, ya que así creamos que la sociedad ha hecho un avance significativo para entender las bases del humano, aún queda mucho camino por recorrer para

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

alcanzar a conocerlo del todo. El siguiente paso de este camino es plasmar estos desarrollos a nivel práctico.

- Uso de la biotecnología para la disminución de costos de productos tradicionales. Facilitar la producción de medicamentos, enzimas industriales, biocombustibles, bioplásticos, entre otros, este es uno de los caminos con más ventajas, ya que, al ser el mismo producto resultante no necesita ningún tipo de marco regulatorio nuevo lo que facilita mucho más todos los procesos, creando lo mismo, pero a menor precio y con menos margen de error al momento de su creación que el anterior.

En la primera matriz de las herramientas de investigación titulado “Biotecnología y desarrollo” de Bisang & Campi, 2009, nos da a conocer muchas más aplicaciones en que puede llegar a tener la biotecnología en producción en la genética animal, como se muestra en la siguiente tabla:

### **Tabla 1**

#### *APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA A GENÉTICA ANIMAL*

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Técnica	Casos	Efectos
1. Identificación total/parcial del mapa genético (y/o genes específico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. genes de ternera en bovinos</li> <li>. genes de proteínas, lípidos y otros en leche</li> <li>. manifestaciones de genes de marmoteado de carne</li> <li>. genes de espesor de calidad de lana en ovejas</li> <li>. mapa de genes que identifican como único al individuo</li> <li>. identificación conjunto de genes de fenotipo</li> </ul>	Objetivación de la ternera (en origen del bovino) Objetivación de la calidad de producción láctea Idem primer ítem Mejor calidad de la materia prima Permite sistemas inviolables de identificación y rastreabilidad Optimiza los procesos naturales de entrecruzamiento; objetiva la calidad de las razas (cambia subjetividad por parámetros objetivos de productividad de la materia prima primaria)
2. Clonación	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Animales para experimentación</li> <li>. Animales transgénicos para leches modificadas</li> <li>. Animales transgénicos para transplantes de órganos con mínimo rechazo</li> <li>. Animales en extinción</li> </ul>	Mejora costos/calidad de investigaciones Nuevos productos finales
3. Modificaciones transgénicas (suma de genes inter especies)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. genes que "sobre" producen defensas orgánicas naturales</li> <li>. genes de coloración</li> <li>. genes que mejoran la transformación alimento/carnes/grasas/leche</li> <li>. genes que modifican los procesos ruminales (menor emisión etanol)</li> <li>. genes que mejoran la resistencia a condiciones climáticas</li> </ul>	Nuevos productos Nuevos productos Menores costos  Menores costos / mejora ambiental  Menores costos
4. Técnicas asociadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>. inseminación artificial</li> <li>. fertilización in Vitro</li> <li>. sexado de embriones</li> <li>. sexado de semen</li> <li>. test de evaluación               <ul style="list-style-type: none"> <li>. identificación</li> <li>. de cualidades predeterminadas</li> <li>. de patrones de razas</li> </ul> </li> </ul>	Mejora calidad de rodeos / mejora de materia prima industrial Mejora proceso de selección Mejora de costos y producción Mejora costos de producción en carne y leche por selección
5. Descripción de los mapas genómicos	Tecnología de base que mejora todas las técnicas previas	

*Nota: La tabla muestra las diferentes técnicas biotecnológicas utilizadas en animales en el texto "biotecnología y desarrollo" de 2009, p.20. elaborada por Bisang & Campi.*

La primera técnica va enfocada hacia el segundo camino que se había mencionado anteriormente, el de la investigación científica, ya que, nos habla del mapeo genético, el cual busca establecer dos puntos de relación entre una muestra de ADN, esta nos muestra el orden de los genes y la distancia que tienen entre otros, esto en general nos ayudará a entender la estructura de los genes y los cromosomas en los animales, de esta forma se mejoran productos como se puede ver en la tabla como lo son la lana, lácteos y optimiza procesos de entrecruzamiento, este es el paso siguiente al camino de investigación científica, la comercialización de los productos resultantes.

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

La tercera tecnología “Modificaciones transgénicas” va enfocada en la generación de nuevos productos, estaríamos hablando del tercer camino, el cual busca facilitar procesos para la disminución de costos en el mercado. Pasamos a la última que es la base de todas las anteriores y que ayuda a mejorarlas puesto que, ayuda a conocer las bases celulares y microscópicas.

Después de hacer una revisión del uso de la biotecnología en animales y plantas, podremos ver el panorama general de las técnicas biotecnológicas enfocadas en la ingeniería genética en la biomedicina, desde la década de los XX comenzaron a implementarse los medicamentos farmoquímicos, estos tienen como objetivo el estudio de las sustancias químicas, moléculas y qué efecto tienen estas en el cuerpo humano para lidiar con las enfermedades, inicialmente la biología estaba enfocada en la creación de vacunas lo cual permitía al receptor generar sus propias autodefensas y antibióticos “ En general, se trata de identificar/desarrollar moléculas que, con un razonable grado de efectos secundarios, puedan restaurar el desequilibrio metabólico que genera una determinada enfermedad” (Bisang & Campi, 2009, p.24), posteriormente se dieron otros avances en medicamentos mediante la modificación de bacterias, “desarrollar terapias en base a células madres (que posteriormente se pueden reproducir para “regenerar” determinados órganos)” (Bisang & Campi, 2009, p.24), terapias génicas mediante el CRISPR/cas9 lo que implica la manipulación de genes dirigidas a solucionar mutaciones que causan enfermedades de orden genético como el Síndrome de Down y algunos tipos de cáncer. Los beneficios en la introducción de estas tecnologías dependerán esencialmente de la conformación de los sistemas de salud, la comercialización que le da a estas, las regulaciones bioéticas y las patentes de las cuales hablaremos en el siguiente apartado

### **4.2 Monopolio genético**

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

De la biotecnología surgen ramas de investigación como la ingeniería genética que se encarga de la manipulación de información genética contenida en una célula, para un propósito en específico como los que mencionamos en el capítulo anterior, de ahora en adelante vamos a enfocar estos subcapítulos a entender las implicaciones que tiene el CRISPR/cas9 (tecnología de la ingeniería genética) en la biomedicina la cual a diferencia de la medicina se encarga de estudiar los fenómenos y patologías del cuerpo humano desde los factores moleculares, genéticos y celulares. La idea de que una tecnología pueda curar enfermedades que pensábamos sin tratamiento es una idea prometedora, sin embargo, aún debemos tener en cuenta las consideraciones legales, bioéticas y regulatorias de las que estaremos hablando.

Como se examinó anteriormente los avances que tiene la ciencia en el sector de desarrollo siempre se terminan comercializando, por esta razón, la ciencia y el derecho son disciplinas que se encuentran interconectadas, “Los nuevos avances de la investigación plantean dilemas de carácter ético, jurídico y social a los que el derecho y la bioética deben dar respuesta, asegurando la protección de los derechos fundamentales y las libertades individuales” (Álvarez, 2017, p.3). Es importante recalcar que la vinculación de la ciencia con el derecho es algo relativamente nuevo que se empezó a presenciar desde el auge que tuvo la biotecnología y la aparición de técnicas innovadoras como el CRISPR/cas9, esto nos demuestra que la ciencia termina siendo un trabajo social que involucra a las personas así no sean investigadores.

El CRISPR/cas9 es un mecanismo de defensa que tienen algunas bacterias y arqueas contra los virus. Su funcionamiento consta de dos partes, la primera son las Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas (CRISPR) estas son secuencias que derivan de elementos genéticos invasores que después se incorporan en estas repeticiones funcionando como una biblioteca de ADN invasor y la endonucleasa cas9 que se encarga de la

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

ruptura de los puentes de hidrógeno que forman la doble cadena del ADN, así que podríamos decir que funcionan como un tipo de tijeras moleculares “Un ARN guía dirige las tijeras moleculares Cas9 al lugar exacto de la mutación. Una vez que estas tijeras moleculares hacen un corte en el ADN, los mecanismos celulares adicionales y el ADN añadido de forma exógena utilizarán la maquinaria de la propia célula y otros elementos para “reparar” específicamente el ADN.” (Bayer, 2022, p.5)

Debido a la sencillez de esta tecnología y el alto potencial que tiene, desde el momento de su descubrimiento inició una guerra de patentes. “El interés económico sobre el sistema CRISPR-Cas9 es enorme y algunos análisis apuntan que el mercado estimado superará los 46.000 millones de dólares” (Álvarez, 2017, p.6). La batalla por la patente ha reunido a los grupos de investigación de los descubridores de tecnología Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier de la Universidad de California y la Universidad de Viena con el grupo de Feng Zhang del Instituto Broad del MIT. El investigador pudo aplicar la tecnología en células de mamíferos, procedentes de ratones y humanos. Sus hallazgos se publicaron en Science en febrero de 2013 (Cong, L. et al, 2013, como se citó en Álvarez, 2017, p.15 ), de esta forma demostró que era posible utilizar la herramienta en organismos más complejos “Ambos equipos litigan desde hace meses por los derechos de la patente, inicialmente solicitada por Doudna y Charpentier el 15 de marzo de 2013 para así proteger mediante 152 reivindicaciones la edición de células no humanas ”(Álvarez, 2017, p.15), esto parecía un tema resuelto, no obstante, el documento no abarcaba todas las posibles aplicaciones del CRISPR/cas9, por esta razón los investigadores del MIT aprovecharon para solicitar otra patente que cubriera sus aplicaciones en las células humanas y en consecuencia las aplicaciones clínicas de esta tecnología, mientras que se la patente original perdía fuerza por cuestión de tiempo, unos nuevos investigadores, Zhang y

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Church presentaron un documento que fue aprobado el 15 de abril de 2014. Durante 2014 la universidad de california intentó renovar su patente logrando en 2015 que las 152 reivindicaciones se volvieran el 9 y que también se cubriera la edición en células eucariotas.

En los meses posteriores, una misteriosa parte ha tratado de tumbar en los tribunales la nueva solicitud de Charpentier y Doudna, mientras que sus abogados decidieron solicitar un procedimiento de interferencia en relación a la invención de Zhang y Church. (Álvarez, 2017, p.20)

De esta problemática surge la primera discusión que en general plantea un problema jurídico para reconocer la titularidad de la propiedad intelectual denominado como el “título que concede el Estado para la explotación en exclusiva, por un tiempo determinado, de una invención nueva y útil” (Grubb, P & Thomsen, P, 2010, como se citó en Álvarez, 2017, p.12), esto supone un monopolio por lo menos de 20 años a cambio de la información, producto del interés económico que se encuentra intrínseco en la evolución de este sistema. Esta no es una suposición apresurada de cómo podrían llegar a ser las cosas, ya que, ocurrió con las semillas modificadas o semillas VAR, en el momento que las grandes empresas empezaron a implementar es uso de estas semillas los agricultores se vieron obligados a comprarlas ya que eran mucho más productivas y más atractivas en el mercado, generando una monopolización en el mercado. Ahora se genera la duda de si esto también podría pasar sistemas de salud y grandes compañías de investigación que se adueñaron de las terapias génicas volviéndolo algo cada vez más privado que en vez de la disminución de costos y la facilitación de acceso a estas haga un efecto contrario, dejando la oportunidad de desarrollo y contribución social quede estancada.

### 1.3 ¿CRISPR/cas9?

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

Ahora bien. existen muchas más implicaciones bioéticas con aplicaciones de casos en la biomedicina como lo es la modificación de embriones humanos, el 22 de abril de 2015 se hicieron ecos en la revista *nature* de la modificación de un embrión no viable en China, esto quiere decir que no puede dar lugar al nacimiento de un ser vivo, en el proceso se intentó modificar una enfermedad sanguínea que resulta ser mortal, al final se reveló que la herramienta presenta serios obstáculos para presentar aplicaciones médicas. La pregunta que abunda en los comités es ¿qué pasaría si uno de esos errores de modificación en los embriones llegara a afectar la línea germinal en las siguientes generaciones desencadenando un problema mucho más grande?, en respuesta a este tipo de preguntas, un grupo de investigadores liderado por Jennifer Doudna aseguró que “la confianza pública en la ciencia requiere de transparencia y de un debate abierto” (Baltimore, D., et al., 2015, como se citó en Álvarez, 2017, p.9). En esta declaración podemos encontrar un poco de tranquilidad ya que las personas podrán conocer un poco más acerca de los avances y decisiones que se hagan, creando un foro abierto al mundo, puesto que, todas las decisiones que se tomen deberán ser pensados y examinados a profundidad.

La terapia génica es el concepto que más se relaciona con el CRISPR/cas9, que se basa en “la transferencia de material genético a las células de un individuo” (Castellanos & Sangro, 2005, p.17), por lo general su finalidad es restablecer una función celular que estaba defectuosa. sabiendo esto con la terapia génica mediante esta técnica podríamos tratar casi cualquier tipo de enfermedad de origen celular siempre y cuando conozcamos el gen que se ve afectado y la secuencia correcta que se debería reemplazar.

En ese sentido, la edición genómica ha mejorado el desarrollo de modelos animales de enfermedades y podría impulsar la llegada de nuevas terapias frente a patologías de origen

EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

genético, diversos tipos de tumores o infecciones provocadas por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), el virus de la hepatitis B o el virus del papiloma humano.

Si esta herramienta de edición genómica cayera en manos de individuos o grupos con intereses particulares, en lugar de ser utilizada para fines médicos legítimos, podría surgir un problema mucho más complejo: la creación de un desequilibrio social. Imagina un escenario en el que algunos deciden manipular los genes de las personas para modificar sus características físicas, lo que podría conducir a la aparición de clases sociales basadas en atributos genéticos, acentuando aún más las desigualdades existentes

Es esencial mantener un enfoque ético y considerar las implicaciones sociales, culturales y morales que estas tecnologías podrían tener en la humanidad en su conjunto. Al ser conscientes de las posibles consecuencias, es fundamental fomentar el debate público sobre los límites y el uso responsable del CRISPR-Cas9 en seres humanos. Además, es relevante promover una mayor transparencia en el proceso científico y en la toma de decisiones, para que la sociedad pueda tener una comprensión clara de los avances y desarrollos en este campo.

Por un lado, hay quienes sienten temor ante la idea de modificar la genética humana sin restricciones, dadas las implicaciones éticas y morales que esto conlleva. Por otro lado, hay quienes se sienten entusiasmados ante la perspectiva de mejorar la especie humana y prevenir o corregir enfermedades genéticas graves. Sin embargo, es necesario reconocer que la implementación sin regulaciones adecuadas y una reflexión ética profunda podría llevarnos a una situación en la que la diversidad genética se vea comprometida, y con ella, la riqueza y variedad que caracterizan a la humanidad

En este contexto, los debates sobre el uso del CRISPR-Cas9 en seres humanos deben ser cuidadosamente considerados y fundamentos. Es necesario encontrar un equilibrio entre los

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

avances científicos y los principios éticos que rigen nuestras decisiones como sociedad. Solo a través de una cuidadosa reflexión y un diálogo abierto podremos garantizar que la investigación genética y su aplicación sean guiadas por el bienestar común y el respeto a la diversidad y dignidad humana. Finalmente, para dejar a criterio del lector lo que piensan que está bien o mal con respecto al tema, dejaré este fragmento del texto “*La protección de la diversidad en el patrimonio genético: implicaciones bioéticas y jurídicas en el uso de CRISPR-Cas9 como herramienta de edición genómica en humanos*”

Luego, si por un lado hay temor sobre el uso de esta nueva técnica, por el otro hay euforia sobre la posibilidad de mejorar la especie, lo que lleva a cuestionarse si la adopción del uso sin restricciones del CRISPR-Cas9 sería éticamente aceptable en los humanos. Es necesario suscitar el debate sobre cuál sería el límite de uso en humanos y hasta dónde ese uso no contribuiría en la erradicación de la diversidad en la humanidad. (Henrique et al., 2020, p.8)

## Capítulo 5. Conclusiones

La biotecnología, en particular la ingeniería genética y el uso del CRISPR/Cas9, ha tenido un impacto significativo en la mejora de la vida y en la transformación de la materia prima mediante procesos biológicos. Esta tecnología ha mostrado su potencial en campos como la agricultura, la producción de alimentos y la industria farmacéutica al permitir la mejora de cultivos y el desarrollo de La aplicación de técnicas de edición genética, como el CRISPR/Cas9, ha abierto un debate ético sobre su uso en la mejora de la raza humana y la modificación de rasgos físicos. Esta posibilidad genera inquietudes sobre el desequilibrio social que podría surgir y la importancia de establecer límites y regulaciones para asegurar un uso responsable y ético de esta tecnología, terapias genéticas para el tratamiento de enfermedades.

La aplicación de técnicas de edición genética, como el CRISPR/Cas9, ha abierto un debate ético sobre su uso en la mejora de la raza humana y la modificación de rasgos físicos. Esta posibilidad genera inquietudes sobre el desequilibrio social que podría surgir y la importancia de establecer límites y regulaciones para asegurar un uso responsable y ético de esta tecnología.

El CRISPR/Cas9 ha demostrado ser una herramienta prometedora en la biomedicina moderna al permitir la prevención y tratamiento de enfermedades genéticas, así como el desarrollo de terapias personalizadas. Esto abre nuevas oportunidades para el crecimiento y desarrollo de países que enfrentan problemas de salud y costos asociados a soluciones médicas

Es necesario continuar con la investigación científica para comprender completamente el impacto del CRISPR/Cas9 en la sociedad y en el campo de la biomedicina. El avance de esta

EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

tecnología debe ir acompañado de regulaciones adecuadas que garanticen su uso ético y responsable, con el objetivo de maximizar los beneficios y minimizar los posibles efectos negativos

La transparencia, el debate abierto y la responsabilidad son fundamentales para construir una confianza pública en la ciencia y en la aplicación del CRISPR/Cas9. El diálogo entre científicos, expertos, reguladores y la sociedad en general es esencial para tomar decisiones informadas y garantizar que esta herramienta sea utilizada de manera ética y en beneficio de la humanidad.

### Referencias

- Jennifer Doudna, a Pioneer Who Helped Simplify Genome Editing (Published 2015). (2023). *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2015/05/12/science/jennifer-doudna-crispr-cas9-genetic-engineering.html>
- de, C. (2005, August 23). *control reproductivo mediante el cual se seleccionan los fenotipos de organismos domésticos o cultivados*. Wikipedia.org; Wikimedia Foundation, Inc. [https://es.wikipedia.org/wiki/Selecci%C3%B3n\\_artificial#/media/Archivo:Corselection.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Selecci%C3%B3n_artificial#/media/Archivo:Corselection.jpg)
- González-Angulo AM, Díaz Amado E. El debate ético y de regulación sobre el uso de CRISPR-Cas9 en la línea germinal humana. *Univ. Med.* 2021;62(4). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed62-4.derc>
- Esquerda. Montse, & Lorenzo. David. (2019, November 15). *Mapa de conflictos éticos de la técnica de edición genética CRISPR-Cas9 - ClinicalKey*. ClinicalKey . <https://www-clinicalkey-es.proxy.unisanitas.edu.co/#!/content/journal/1-s2.0-S0025775319302532>
- María, A., Angulo, G., & Díaz, E. (2021). El debate ético y de regulación sobre el uso de CRISPR-Cas9 en la línea germinal humana The Ethical and Regulatory Debate on the Use of CRISPR-Cas9 in the Human Germline. In *Scielo*. <http://www.scielo.org.co/pdf/unmed/v62n4/2011-0839-unmed-62-04-206.pdf>
- Bellet, A. (2020, December 10). *Latinoamérica avanza en edición genética aplicada a cultivos que benefician a agricultores y consumidores*. ChileBIO; ChileBio. <https://www.chilebio.cl/2020/12/10/latinoamerica-avanza-en-edicion-genetica-aplicada-a-cultivos-que-benefician-a-agricultores-y-consumidores/#:~:text=%2D%20Los%20agricultores%20latinoamericanos%20se%20est%C3%A1n,en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20alimentos.>
- Chilebio. (2020, December 10). *Latinoamérica avanza en edición genética aplicada a cultivos que benefician a agricultores y consumidores*. ChileBIO; ChileBio. <https://www.chilebio.cl/2020/12/10/latinoamerica-avanza-en-edicion-genetica-aplicada-a-cultivos-que-benefician-a-agricultores-y-consumidores/#:~:text=%2D%20Los%20agricultores%20latinoamericanos%20se%20est%C3%A1n,en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20alimentos.>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

- María, L. (2019). Implicaciones jurídico-prácticas de la concesión parcial de patente de la tecnología CRISPR/Cas9 en Colombia. (“Implicaciones jurídico-prácticas de la concesión parcial de patente de ...”) *U externado.edu.co*.  
<https://doi.org/https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/2598>
- Campos, J. (2021). Ingeniería genética contra estrés abiótico en cultivo neotropicales: osmolitos, factores de transcripción y CRISPR/Cas9. (“Ingeniería genética contra estrés abiótico en cultivos neotropicales ...”) *Rev. Colomb. Biotecnol.*XXIII(2), 47–66.  
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n2.88487>
- González B. (2018). CRISPR COMO HERRAMIENTA DE EDICIÓN GENÉTICA Y SUS APLICACIONES EN LA SALUD HUMANA. Universidad Complutense, 1–20.  
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/IGNACIO%20BEUNZA%20GONZALEZ.pdf>
- La matriz de análisis de datos, un aliado para empresas data-driven.* (2022). Powerdata.es.  
<https://blog.powerdata.es/el-valor-de-la-gestion-de-datos/la-matriz-de-analisis-de-datos-un-aliado-para-empresas-data-driven#:~:text=La%20matriz%20de%20datos%20es,cual%20ejecutar%20los%20diferentes%20an%C3%A1lisis.>
- Iñigo M. (2019, February 14). DOSSIER EDICIÓN GENÓMICA, BIOÉTICA Y RESPONSABILIDAD. Universidad de Barcelona  
<https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n47/1886-5887-bioetica-47-00055.pdf>.
- Mulet, D. Q. (2018). TRABAJO FIN DE GRADO ¿SE PUEDE APLICAR EL SISTEMA CRISPR-Cas9 EN INMUNOTERAPIA? Universidad de La Laguna, 1–22.  
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/17532/%c2%bfSe%20puede%20aplicar%20el%20sistema%20CRISPR-Cas9%20en%20inmunoterapia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mantilla, Y. (2019). CRISPR/Cas9 Y VIH: ¿Es este sistema de edición génica la solución terapéutica para erradicar el virus? (“Sección de Medicina Escuela de Doctorado y Estudios de Trabajo de Fin ...”) Universidad de La Laguna.  
<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/14824>
- Anguera Argilaga, M. T. (1986). La investigación cualitativa. *Educar*, (10), 023-50.  
<https://ddd.uab.cat/pub/educar/0211819Xn10/0211819Xn10p23.pdf>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta*, Fidiás G. Arias Odón.  
[https://scholar.google.com.co/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&as\\_vis=1&q=fidiás+g+arias+metodolog%C3%ADa&oq=fidiás+g+arias#d=gs\\_cit&t=1658873763164&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3A4T6J8q-NXjIJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3dtrue%26scirp%3D0%26hl%3Des](https://scholar.google.com.co/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=fidiás+g+arias+metodolog%C3%ADa&oq=fidiás+g+arias#d=gs_cit&t=1658873763164&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3A4T6J8q-NXjIJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3dtrue%26scirp%3D0%26hl%3Des)

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

- Hernández Sampieri, R. (2017). metodología de la investigación. uca.ac.cr, (6), 3-10. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Pérez Andrés, C. (2002). Sobre la metodología cualitativa. *Revista española de salud pública*, 76, 373-380. [https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/resp/v76n5/editorial.pdf](https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/resp/v76n5/editorial.pdf),
- Rusu, C. (s.f.). Metodología de la Investigación. In *formaciondocente.com*. [http://www.formaciondocente.com.mx/06\\_RinconInvestigacion/01\\_Documentos/El%20Alcance%20de%20la%20Investigacion.pdf](http://www.formaciondocente.com.mx/06_RinconInvestigacion/01_Documentos/El%20Alcance%20de%20la%20Investigacion.pdf)
- Catro, M. (2015). *El cambio climático Antropogénico: Una teoría científica en un debate socio-político a escala global*. Divulgameteo.es. <https://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/CC-antropog%C3%A9nico-Castro.pdf>
- Estrés abiótico en las plantas, impacto en la producción agrícola y su manejo*. (2022, March 29). Metroflor. <https://www.metroflorcolombia.com/estres-abiotico-en-las-plantas-impacto-en-la-produccion-agricola-y-su-manejo/>
- Laura Parra Villar. (2020, February 17). *El sistema CRISPR/Cas9*. Reproducción Asistida ORG. <https://www.reproduccionasistida.org/autorizacion-de-modificacion-de-embriones/sistema-crispr-cas9/>
- Ibáñez, J. (2002). SOBRE LA METODOLOGÍA CUALITATIVA (\*) Jesús Ibáñez SOBRE LA METODOLOGÍA CUALITATIVA. In *scielo.isciii*. <https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v76n5/editorial.pdf>
- Arias, F. (2011). *Metodología de la investigación en las ciencias aplicadas al deporte: un enfoque cuantitativo*. Efdportes.com. <https://www.efdeportes.com/efd157/investigacion-en-deporte-enfoque-cuantitativo.htm#:~:text=En%20este%20sentido%2C%20los%20estudios,nivel%20m%C3%A1s%20profundo%20de%20conocimientos>.
- Ángela. (2013). Semillas híbridas, transgénicas y ecológicas. Planeta Huerto; Planeta Huerto. [https://www.planetahuerto.es/revista/semillas-hibridas-transgenicas-y-ecologicas\\_00256](https://www.planetahuerto.es/revista/semillas-hibridas-transgenicas-y-ecologicas_00256)
- Ana Zita Fernandes. (2019, July 30). *Leyes de Mendel*. Significados; Significados. <https://www.significados.com/leyes-de-mendel/>
- Huerta, K., Lina, & Colon, P. (2018). La revolución verde. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía Y Cambio Climático*, 4(8), 1040–1052. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941755011/html/index.html#:~:text=%C3%89sta%20consisti%C3%B3%20en%20utilizar%20variedades,de%20agua%2C%20fertilizantes%20y%20plaguicidas>.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (2015). Convenio Para La Protección de Los Derechos Humanos Y La Dignidad Del Ser Humano, Respecto de Las Aplicaciones de La Biología Y Medicina | Comisión Nacional de Los Derechos Humanos - México. <https://www.cndh.org.mx/noticia/convenio-para-la-proteccion-de-los-derechos-humanos-y-la-dignidad-del-ser-humano-respecto>

- **Referencias marco teórico**

## Biomedicina

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

OMS. (2002). PAUTAS ÉTICAS INTERNACIONALES PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA. In *cioms.ch*. [https://cioms.ch/wp-content/uploads/2016/08/PAUTAS\\_ETICAS\\_INTERNACIONALES.pdf](https://cioms.ch/wp-content/uploads/2016/08/PAUTAS_ETICAS_INTERNACIONALES.pdf)

Juan Manuel Iranzo, Blanco, R., Latour, B., & Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. (“La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos”) (“La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos”) ResearchGate; unknown.  
[https://www.researchgate.net/publication/315177309\\_La\\_vida\\_en\\_el\\_laboratorio\\_La\\_construccion\\_de\\_los\\_hechos\\_cientificos](https://www.researchgate.net/publication/315177309_La_vida_en_el_laboratorio_La_construccion_de_los_hechos_cientificos)

*Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos*. (2023). OHCHR.  
<https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-civil-and-political-rights>

Larralde, C. (1993). *La biomedicina ¿qué, quién y para qué?*. *Ciencias*, (030).  
<http://www.ejournal.unam.mx/cns/no30/CNS03003.pdf>

Torres, F. S. (2000). *Ética e investigación biomédica*. *Nómadas*, (13), 199-208.  
[file:///C:/Users/57318/Downloads/Dialnet-EticaEInvestigacionBiomedica-3989479%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/57318/Downloads/Dialnet-EticaEInvestigacionBiomedica-3989479%20(1).pdf)

### **Bioteología**

Bisang, R., Campi, M., & Cesa, V. (2009). *Bioteología y desarrollo*. *Cepal.org*.  
<https://hdl.handle.net/11362/3650>

Romero, G. (2008). Bioteología: generalidades, riesgos y beneficios. In *compositae.files*.  
<https://compositae.files.wordpress.com/2015/02/gloriaromero-1.pdf>  
Escobar Triana M.D., J., (2007). Bioética, cuerpo humano, bioteología y medicina del deseo. *Revista Colombiana de Bioética*, 2(1), 33-51.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1892/189217294003.pdf>

Tresguerres, J., Martínez, V., & Navas, V. (2013). *Bioteología aplicada a la medicina*. Google Books.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DR8BAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=biotecnolog%C3%ADa+en+la+medicina&ots=q2CVNKq\\_pF&sig=rYJ5aZfIKmzsmM\\_I175ZV1Aysu0#v=onepage&q=biotecnolog%C3%ADa%20en%20la%20medicina&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DR8BAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=biotecnolog%C3%ADa+en+la+medicina&ots=q2CVNKq_pF&sig=rYJ5aZfIKmzsmM_I175ZV1Aysu0#v=onepage&q=biotecnolog%C3%ADa%20en%20la%20medicina&f=false)

### **Ingeniería genética**

Mainero, F. X. S. (2015). “*La ingeniería genética, la nueva bioteología y la era genómica*.” (“La ingeniería genética, la nueva bioteología y la era genómica”) (“La ingeniería genética, la nueva bioteología y la era genómica”) Fondo de Cultura Económica.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=a1G\\_DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Que+e](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=a1G_DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Que+e)

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

[s+la+ingenieria+genetica&ots=wbRgGWI3JR&sig=h5X8DWGN85sqrfpMgzf5V7Yc5XI#v=onepage&q&f=false](https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Vector#:~:text=Un%20vector%2C%20en%20lo%20que,de%20clonaci%C3%B3n%20ADN%20recombinante)

### **Vector**

National Human Genome Research Institute. (2023, February 3). *Vector*. Genome.gov.

<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Vector#:~:text=Un%20vector%2C%20en%20lo%20que,de%20clonaci%C3%B3n%20ADN%20recombinante>

### **CRISPR/cas9**

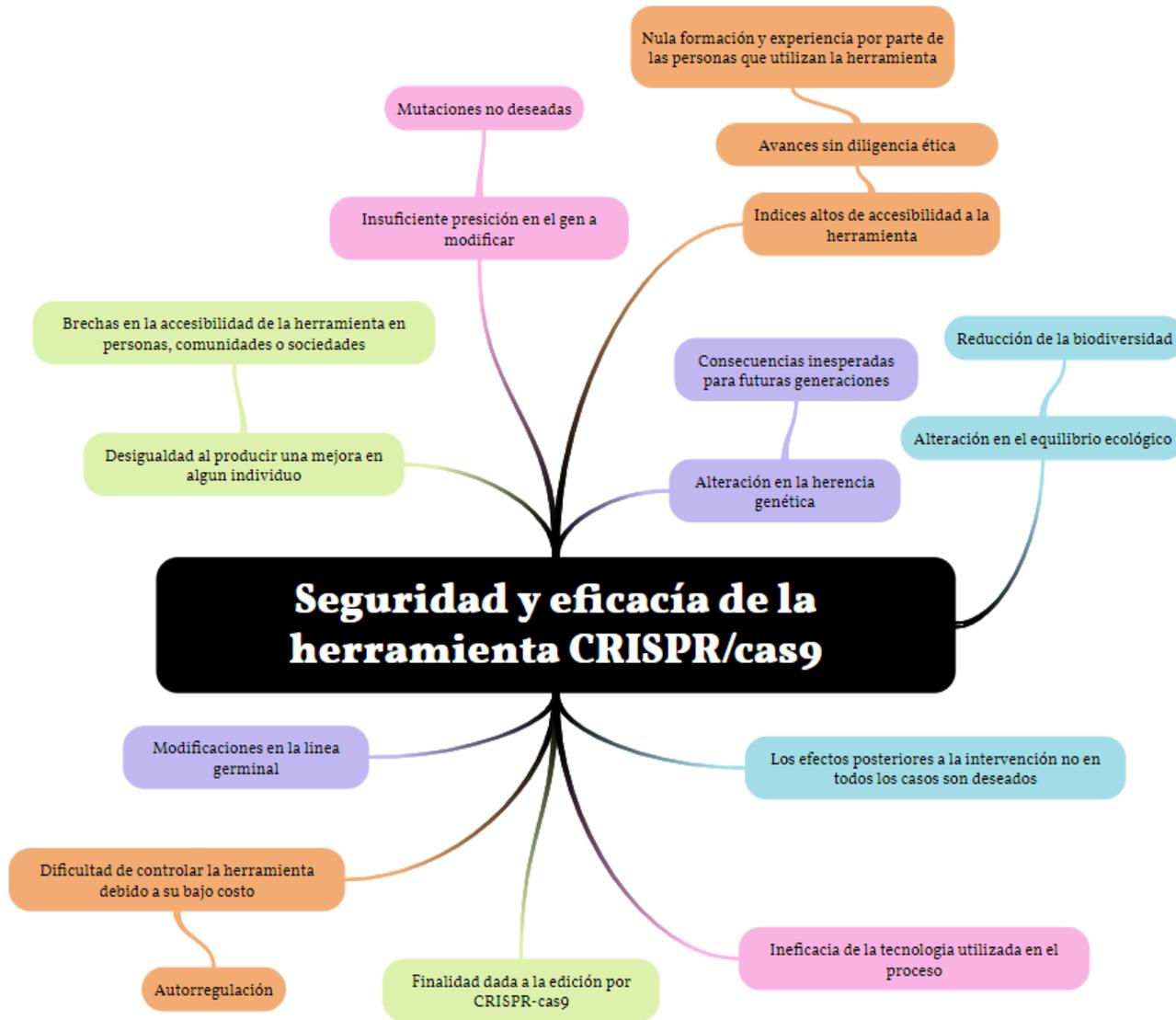
National Human Genome Research Institute. (2023, February 3). *Nucleótido*. Genome.gov.<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Nucleotido>

Lammoglia, M., Lozano-Reyes, R., Avilez, C., Trejo-Reveles, V., Balam, R., & López, C. (2016). La revolución en ingeniería genética: sistema CRISPR/Cas. *Medigraphic*, 5(2), 116–128.

<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=65496>

Apéndices o anexos

Árbol de problemas



## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

## Matriz Estado del arte

Autores	Nombre de la investigación	Pregunta de la investigación	Objetivo general	Metodología	Referentes teóricos	Conclusiones principales	Aportes para la investigación	Cibergrafía
González Beunza. 2018	CRISPR COMO HERRAMIENTA DE EDICIÓN GENÉTICA Y SUS APLICACIONES EN LA SALUD HUMANA	N.A	demostrar el potencial terapéutico del sistema CRISPR/Cas9, así como su versatilidad	Cualitativa, método documental	CRISPR ADN	El sistema CRISPR/Cas9 es una herramienta útil en una gran variedad de ámbitos, especialmente por su repercusión en el tratamiento de las enfermedades No obstante para poder ver aplicado este sistema en humanos aún se deben superar una serie de obstáculos que superen los problemas éticos	Trata de las aplicaciones en el cuerpo humano enfocadas a la solución de enfermedades genéticas, también repasa la historia del descubrimiento de esta herramienta	<a href="http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/IGNACIO%20BEUNZA%20GONZALEZ.pdf">http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/IGNACIO%20BEUNZA%20GONZALEZ.pdf</a>
Palacios Fernández. 2019	EDICIÓN DE GENES MEDIANTE CRISPR-	N.A	Descripción del sistema de edición de genes	Revisión bibliográfica	Genes Proteínas CRISPR ARN	El sistema CRISPR-Cas es un método de inmunidad adaptativa que usan ciertos tipos de	Describe el campo de la terapia génica a través de la herramienta de edición genética	<a href="https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/91758/FERNANDEZ%20PALACIOS.pdf">https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/91758/FERNANDEZ%20PALACIOS.pdf</a>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

	Cas9: MÁS QUE CORTAR Y PEGAR		CRISPR-Cas9 y sus aplicaciones en el campo de la terapia génica		Nucleasa	bacterias y arqueas para hacer frente a infecciones por bacteriófagos. Las enfermedades hereditarias retinianas parten en buena posición por ser las primeras en recibir un tratamiento de terapia génica basado en estos sistemas debido a las características particulares del ojo.	CRISPR/cas-9	OS%2C%20PABLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Flórez Mantilla. 2019	CRISPR/Cas9 Y VIH	¿Es este sistema de edición génica la solución terapéutica para erradicar el virus?	Establecer la utilidad de la herramienta CRISPR/Cas9 en el manejo de la infección por el VIH.	Búsqueda bibliográfica	CRISPR, CRISPR/Cas9, HIV, AIDS.	La infección por el VIH representa una importante carga de morbilidad y sin lugar a dudas, la edición genómica con CRISPR/Cas9 resultaría considerablemente útil en la terapia contra el VIH abriendo las puertas a nuevos horizontes que nos acercan más al día en que logremos erradicar esta enfermedad.	Explica cómo el método de edición genética se puede aplicar	<a href="https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/14824">https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/14824</a>
Mulet Quintana. 2019	APLICACIÓN DEL CRISPR/CAS9 EN LA INMUNOTERAPIA	¿SE PUEDE APLICAR EL SISTEMA CRISPR-	Explicar el funcionamiento de CRISPR-Cas9 y su evolución	N.A	CRISPR/cas9 VIH terapia de transferencia celular	Todos los avances en ingeniería genética relacionados con CRISPR-Cas evidencian su potencial para la futura erradicación de ciertas	Explica las aplicaciones de la herramienta de edición genética en la inmunoterapia que podría ayudar a prevenir enfermedades	<a href="https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/17532/%c2%bfSe%20puede%20aplicar%20el%20sistema%20CRISPR-">https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/17532/%c2%bfSe%20puede%20aplicar%20el%20sistema%20CRISPR-</a>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

		Cas9 EN INMUNOTERAPIA	como herramienta de edición genética.		adoptiva	enfermedades de alta carga genética. En este sentido, ante una época en la que el desarrollo biotecnológico está adquiriendo gran relevancia dentro de la investigación médica, CRISPR-Cas parece la opción más viable frente a un futuro en el que la edición del genoma se pueda aplicar de forma eficiente y segura.		Cas9%20en%20inmunoterapia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Doble Mir. 2020	Revisión del uso de la edición génica mediante CRISPR-Cas9 en hongos. Proyecto para su uso en el hongo Botrytis cinerea.	N.A	Revisar el uso de CRISPR-Cas como método de edición genética en hongos, y describir la manera en que este sistema se podría usar en el hongo fitopatógeno Botrytis cinerea.	Búsqueda bibliográfica	Botrytis cinerea, CRISPR-Cas, hongo, edición génica.	Los sistemas CRISPR se descubrieron como sistemas inmunes adaptativos, pero en los últimos años se han aplicado como método de edición genética, demostrando ser una herramienta muy eficiente.	Revisa y rescata otras posibilidades en las que se puede aplicar el CRISPR/cas9 como método para modificar hongos	<a href="https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20085/Revision%20del%20uso%20de%20la%20edicion%20genica%20mediante%20CRISPR-Cas9%20en%20hongos.%20Proyecto%20para%20su%20uso%20en%20el%20hongo%20Botrytis%20cinerea..pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20085/Revision%20del%20uso%20de%20la%20edicion%20genica%20mediante%20CRISPR-Cas9%20en%20hongos.%20Proyecto%20para%20su%20uso%20en%20el%20hongo%20Botrytis%20cinerea..pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>
De Vega.	Post-	N.A	PTMs play	N.A	Proteine	Alterations in the levels	Habla de las	<a href="https://riull.ull.es/xmlui/bitst">https://riull.ull.es/xmlui/bitst</a>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

2019	translational modifications in the DNA damage response		essential roles in gene regulation, cellular function, tissue development and metabolism, in which they can be critical for protein function, by influencing their localization, stability, activity and interaction with other molecules. In particular, the cellular responses to DNA damage		DNA Mutations Post-translation al modificati ons	of PHF2 lead to genomic instability.	complicaciones que puede tener la modificación del ADN y su posible daño	<a href="https://doi.org/10.1186/s12915-019-0688-7">ream/handle/915/24490/468312_1218522.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>
Berain de Miguel. 2019	EDICIÓN GENÓMICA, BIOÉTICA Y RESPONSA BILIDAD	¿Modificar o no modificar el genoma de nuestra descendencia?	N.A	Revisión bibliográfica	Edición genética; manipulación de embriones; ingeniería genética;	A día de hoy resulta casi imposible aseverar los riesgos reales que implica e implicará el uso de estas tecnologías, los posibles beneficios que puedan aportar o los	Da una perspectiva a la edición genética desde el ámbito ético y hace una pregunta fundamental que se ha planteado desde el descubrimiento de esta	<a href="https://scielo.es/pdf/bioetica/n47/1886-5887-bioetica-47-00055.pdf">https://scielo.es/pdf/bioetica/n47/1886-5887-bioetica-47-00055.pdf</a>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

					terapias génicas; comité de bioética de España; mejora; enhancement.	cambios sociales que acabarán provocando. Ahora bien, dicho esto resulta también necesario destacar que la apelación a un diálogo bien informado casa mal con la idea que quiere transmitirse desde el documento de que existe una postura contraria a la edición de genes humanos en la línea germinal que es universalmente aceptada	herramienta	
Portillo Sanz. 2019	CRISPR/Cas 9 como herramienta natural de edición genética y su aplicación en el tratamiento inmunológico del cáncer	N.A	Aplicar el conocimiento de CRISPR como herramienta de edición genética en la terapia inmunológica del cáncer mediante CART CELLS	Metodología bibliográfica	CRISPR/cas9 Tratamiento inmunológico CAR-T CELLS	El desarrollo de la tecnología CRISPR resalta la importancia de la investigación básica, gracias a la cual se ha descubierto un sistema de inmunidad adaptativo en microorganismos sin precedentes. El empleo de técnicas de edición genética requiere considerar cuidadosamente sus implicaciones éticas así como un alto grado de responsabilidad por parte de la comunidad	Explica la capacidad de la edición genética y su aplicación en el tratamiento inmunológico del cáncer	<a href="http://www.sciebo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0123-34752021000200047&amp;lang=es">http://www.sciebo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0123-34752021000200047&amp;lang=es</a>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

						científica, destacando su uso en líneas germinales.		
Campos Carvajal, Jiménez. 2021	Ingeniería genética contra estrés abiótico en cultivos neotropicales: osmolitos, factores de transcripción y CRISPR/Cas 9	N.A	N.A	Artículo de revisión	Cultivos neotropicales Osmolitos Cambio climático	Para contrarrestar las pérdidas que pueden causar factores abióticos, como sequía, salinidad y cambios en la temperatura, se han implementado técnicas biotecnológicas para conferir tolerancia a estos tipos de estrés. Mediante la transformación genética y edición génica se ha logrado conferir tolerancia en cultivos de origen neotropical con importancia económica a uno o más tipos de estrés ambiental.	hace un estudio las aplicaciones del CRISPR/cas9 desde los cultivos y como el cambio climático afecta a estos mismos	<a href="http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0123-34752021000200047&amp;lang=es">http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0123-34752021000200047&amp;lang=es</a>
Deykin, Orekhov, Volobueva. 2019	An update on the tools for creating transgenic animal models of human diseases – focus on atherosclerosis	N.A	N.A	Artículo de revisión	Animal models Gene editing Atherosclerosis	Development of novel gene editing techniques had a great beneficial effect on transgenic animal model creation. Nucleases allow for generating larger animal models, which resemble human pathology more closely. Combining different tools, such as	Habla de la creación de animales transgénicos para curar enfermedades humanas enfocada a la aterosclerosis	<a href="https://www.scielo.br/j/bjmb/a/fKgSfJVhCWhecv69nfhZV7pd/?lang=en">https://www.scielo.br/j/bjmb/a/fKgSfJVhCWhecv69nfhZV7pd/?lang=en</a>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

	s					CRISPR/Cas9, RNAi, and Cre-loxP allows controlling multiple genetic events independently. Optimization of these systems will continue, and they will be adapted to create animal models that are more precise for studying human diseases		
Fok, Mhlanga, Weinberg. 2015	Multiplexed CRISPR/Cas9 genome editing increases the efficacy of homologous-dependent repair of donor sequences in mammalian cells	N.A	N.A	Research Article	genome repair, genome targeting, sgRNA, HDR, T7 endonucleases	A dual cut gene editing strategy allows for distally located sites to be targeted simultaneously, enabling for extensive and expansive gene modifications to be achieved efficiently. We have shown that this method is particularly useful for maintaining the native function of the gene, in which selection cassettes used to identify cells with the modifications of interest can be inserted in neighboring introns.	Hace un análisis de cómo podría mejorar el CRISPR/cas9 las secuencias donantes en células de mamíferos	<a href="http://www.sciepub.com/pdfs/sajs/v11i1n7-8/22.pdf">http://www.sciepub.com/pdfs/sajs/v11i1n7-8/22.pdf</a>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

## Matriz referencias

Autor	Nombre del texto	Referencia	Categoría	Primaria	Secundaria
Bisang, R., Campi, M	<i>Biología y desarrollo.</i> <i>Cepal.org.</i>	Bisang, R., Campi, M., & Cesa, V. (2009). <i>Biología y desarrollo. Cepal.org.</i> <a href="https://hdl.handle.net/11362/3650">https://hdl.handle.net/11362/3650</a>	Biología	x	
Vásquez, G.	<i>Biología: generalidades,</i> <i>riesgos y beneficios.</i>	Vásquez, G. R. (2008). <i>Biología: generalidades, riesgos y beneficios.</i> <a href="https://dlwqtxts1xzle7.cloudfront.net/39190849/GloriaRomero_1-libre.pdf?1444870341=&amp;response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGloria_Romero_1.pdf&amp;Expires=1675660033&amp;Signature=M1V3nrhgLvCuJOkj2u9J5FkdmJQ0uMHFyyi5liy3o60FHk3SGG472zgg-yPEcs3edh~EECud0JIXx-nXwKn0Ln5Mq-wcLW79MqpEj6vNTWHX8ItRoKHJlig6fuxAmWRf6rCPqU6x2l~qvqbDXSKeaBL1Gyus4RDIPo0YyS7ne0yPZBQWuqeSwiGaQVW6Q9K63z~5Sgr611626qQ94i4Y8iufQ8LpXeKmlCDhxlBLpzyeTBPbhjyG55fsZk96VcVWls8lp0pafYV2fVUWEnMsbzG95SCIYbFFALs1G9daC6E6O6JPMsx~9D3zNm1apjYfDIFveeAOAFjPsP6sLacA_&amp;Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA">https://dlwqtxts1xzle7.cloudfront.net/39190849/GloriaRomero_1-libre.pdf?1444870341=&amp;response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGloria_Romero_1.pdf&amp;Expires=1675660033&amp;Signature=M1V3nrhgLvCuJOkj2u9J5FkdmJQ0uMHFyyi5liy3o60FHk3SGG472zgg-yPEcs3edh~EECud0JIXx-nXwKn0Ln5Mq-wcLW79MqpEj6vNTWHX8ItRoKHJlig6fuxAmWRf6rCPqU6x2l~qvqbDXSKeaBL1Gyus4RDIPo0YyS7ne0yPZBQWuqeSwiGaQVW6Q9K63z~5Sgr611626qQ94i4Y8iufQ8LpXeKmlCDhxlBLpzyeTBPbhjyG55fsZk96VcVWls8lp0pafYV2fVUWEnMsbzG95SCIYbFFALs1G9daC6E6O6JPMsx~9D3zNm1apjYfDIFveeAOAFjPsP6sLacA_&amp;Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA</a>	Biología		x
Escobar Triana M.D., J.,	Bioética, cuerpo humano, biotecnología y medicina del	Escobar Triana M.D., J., (2007). Bioética, cuerpo humano, biotecnología y medicina del	Biología	x	

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

	deseo.	deseo. <i>Revista Colombiana de Bioética</i> , 2(1), 33-51. <a href="https://www.redalyc.org/pdf/1892/189217294003.pdf">https://www.redalyc.org/pdf/1892/189217294003.pdf</a>			
Tresguerres, J., Martínez, V., & Navas	<i>Biotecnología aplicada a la medicina</i>	Tresguerres, J., Martínez, V., & Navas, V. (2013). <i>Biotecnología aplicada a la medicina</i> . Google Books. <a href="https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=DR8BAQAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PR7&amp;dq=biotecnolog%C3%ADa+en+la+medicina&amp;ots=q2CVNKq_pF&amp;sig=rYJ5aZfIKmzsmM_I175ZV1Aysuo#v=onepage&amp;q=biotecnolog%C3%ADa%20en%20la%20medicina&amp;f=false">https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=DR8BAQAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PR7&amp;dq=biotecnolog%C3%ADa+en+la+medicina&amp;ots=q2CVNKq_pF&amp;sig=rYJ5aZfIKmzsmM_I175ZV1Aysuo#v=onepage&amp;q=biotecnolog%C3%ADa%20en%20la%20medicina&amp;f=false</a>	Biotecnología	x	
OMS	PAUTAS ÉTICAS INTERNACIONALES PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA	OMS. (2002). PAUTAS ÉTICAS INTERNACIONALES PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA. In <i>cioms.ch</i> . <a href="https://cioms.ch/wp-content/uploads/2016/08/PAUTAS_ETICAS_INTERNACIONALES.pdf">https://cioms.ch/wp-content/uploads/2016/08/PAUTAS_ETICAS_INTERNACIONALES.pdf</a>	Biomedicina	x	
Juan Manuel Iranzo, Blanco, R., Latour, B., & Woolgar, S.	<i>La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos.</i>	Juan Manuel Iranzo, Blanco, R., Latour, B., & Woolgar, S. (1995). <i>La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos.</i> (“La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos”) (“La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos”) ResearchGate; unknown.	Biomedicina		x

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

		<a href="https://www.researchgate.net/publication/315177309">https://www.researchgate.net/publication/315177309</a> <u>La vida en el laboratorio La construcción de los hechos científicos</u>			
OHCHR	<i>Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos.</i>	<i>Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos.</i> (2023). OHCHR. <a href="https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-civil-and-political-rights">https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-civil-and-political-rights</a>	Biomedicina	x	
Larralde, C.	<i>La biomedicina ¿qué, quién y para qué?</i>	Larralde, C. (1993). <i>La biomedicina ¿qué, quién y para qué?. Ciencias</i> , (030). <a href="http://www.ejournal.unam.mx/cns/no30/CNS03003.pdf">http://www.ejournal.unam.mx/cns/no30/CNS03003.pdf</a>	Biomedicina		x
Torres, F. S.	<i>Ética e investigación biomédica. Nómadas</i>	Torres, F. S. (2000). <i>Ética e investigación biomédica. Nómadas</i> , (13), 199-208. file:///C:/Users/57318/Downloads/Dialnet-EticaEInvestigacionBiomedica-3989479%20(1).pdf	Biomedicina		x
Mainero, F. X. S.	<i>La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica.</i>	Mainero, F. X. S. (2015). “ <i>La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica.</i> ” (“La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica”) (“La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica”) Fondo de Cultura Económica.	Ingeniería genética		x

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

		<a href="https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=a1G_DAAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PT6&amp;dq=Que+es+la+ingenieria+genetica&amp;ots=wbRgGWI3JR&amp;sig=h5X8DWGN85sqrfpMgzf5V7Yc5XI#v=onepage&amp;q&amp;f=false">https://books.google.es/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=a1G_DAAAQBAJ&amp;oi=fnd&amp;pg=PT6&amp;dq=Que+es+la+ingenieria+genetica&amp;ots=wbRgGWI3JR&amp;sig=h5X8DWGN85sqrfpMgzf5V7Yc5XI#v=onepage&amp;q&amp;f=false</a>			
Lammoglia-Cobo MF, Lozano-Reyes R, García-Sandoval CD	La revolución en ingeniería genética: sistema CRISPR/Cas. Investigación en Discapacidad.	Lammoglia-Cobo MF, Lozano-Reyes R, García-Sandoval CD,(2016). La revolución en ingeniería genética: sistema CRISPR/Cas. Investigación en Discapacidad. 2016;5(2):116-128. <a href="https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=65496">https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=65496</a>	CRISPR/cas 9		x

## Matriz categorías

Pregunta problematizadora	Objetivo General – Específicos	Categoría	Definición Conceptual	Subcategoría	Eje de análisis	Fuentes Primarias
N.A	Divulgar información sobre la biotecnología, contribuyendo a su comprensión y estimulando su desarrollo	Biotecnología	“La biotecnología es el empleo de organismos vivos para la obtención de un bien o servicio útil para el hombre”(Consejo argentino para la información y el desarrollo de la biotecnología[ArgenBio], 2022)	Ingeniería Genética	Agricultura, medicina	x

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

N.A	N.A		“Todos los métodos utilizados para convertir materia prima en bienes utilizando en alguna etapa organismos vivos o sus productos”( Ereky.K, 1919)			
N.A	N.A	Biomedicina	“La biomedicina es una disciplina que estudia los aspectos biológicos de la medicina, esencialmente a través del análisis de los factores genéticos, celulares, bioquímicos y moleculares del cuerpo humano, así como las enfermedades que potencialmente pueden afectarle”. (Centro europeo de másteres y postgrados, 2020)	CRISPR/cas9	Cultivos, Terapia génica	
N.A	N.A		“La biomedicina es la disciplina que se encarga de estudiar los aspectos biológicos de la medicina. Para ello, analiza los factores celulares, genéticos, moleculares y bioquímicos del cuerpo humano y las enfermedades que este puede sufrir”. (Universitat Ramon Llull, 2018)			
N.A	N.A		“Las herramientas de modificación genética nos permiten modificar el genoma de los organismos con diferentes finalidades, entre las que destaca la producción de proteínas recombinantes, por ejemplo, para modificar rutas metabólicas y obtener ingredientes bioactivos, biomateriales, metabolitos y otras moléculas de interés”(Juárez.P, 2020)			x
N.A	N.A		“Permiten modificar el material genético de cualquier organismo con precisión, una capacidad que ha dado lugar a un amplísimo abanico de aplicaciones con las que se trabaja en laboratorios de todo el mundo”(Pou.T, 2022)			x

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

## Instrumentos

<b>Documento</b>	<b>1. Biotecnología y desarrollo</b>
<b>Datos bibliográficos</b>	Bisang, R., & Campi, M. (2009). Biotecnología y desarrollo. In <i>Repositorio.cepal.org</i> . <a href="https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3650/S2009064_es.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3650/S2009064_es.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>
<b>Pregunta problema</b>	¿Cómo ha evolucionado la aplicación de la biología en la transformación de la naturaleza, desde la fermentación de bebidas hasta la manipulación del ADN y la creación de productos genéticamente modificados?
<b>Palabras clave</b>	Biología, transformación, fermentación, procesos biológicos, vacunas, fitomejoramiento, semillas híbridas, ADN, manipulación, producción, modificaciones genéticas.
<b>Datos principales</b>	El texto presenta la evolución de la aplicación de la biología en la transformación de la naturaleza desde la antigüedad con la ley de Mendel, hasta la manipulación genética. Se destacan los procesos de selección, hibridación y mejora de semillas en la agricultura, y se enfatiza en la relación entre la ciencia, la tecnología y el mercado en la creación de nuevos productos y procesos. También se menciona la importancia de la identificación del ADN y la manipulación de los genes para la clonación y la creación de productos genéticamente modificados.
<b>Aportes a la investigación</b>	Este documento acentúa las bases del proyecto de investigación, ya que, nos habla de los inicios de la biotecnología y como pasa a ser útil en la ganadería, agricultura e industria. Además de mencionar los buenos impactos y el papel que juega en la producción de alimentos aborda temas como la monopolización del mercado en cuanto a la agricultura, semillas VAR; “semillas modificadas genéticamente para dar un rendimiento mayor” (Huerta, K., Lina, & Colon, P. 2018) y cómo esto puede afectar a los agricultores.
<b>Conclusiones</b>	La aplicación de la biología en la transformación de la naturaleza ha evolucionado desde procesos antiguos como la fermentación de bebidas y la fabricación de queso y pan hasta la manipulación genética de los organismos vivos. Los procesos de mejora de semillas, hibridación y selección han sido fundamentales en la agricultura. La identificación del

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

	ADN y la manipulación de los genes ha permitido la clonación y la creación de productos genéticamente modificados, lo que ha llevado al desarrollo de nuevos productos y procesos. Esto ha generado una estrecha relación entre la ciencia, la tecnología y el mercado.
--	---

<b>Documento</b>	<b>2. La revolución de CRISPR-Cas9: una aproximación a la edición genómica desde la bioética y los derechos humanos</b>
<b>Datos bibliográficos</b>	Álvarez, B. (2017). <i>Vista de La revolución de CRISPR-Cas9: una aproximación a la edición genómica desde la bioética y los derechos humanos</i> . Comillas.edu. <a href="https://revistas.comillas.edu/index.php/bioetica-revista-iberoamericana/article/view/7653/7471">https://revistas.comillas.edu/index.php/bioetica-revista-iberoamericana/article/view/7653/7471</a>
<b>Pregunta problema</b>	N/A
<b>Palabras clave</b>	Bioética, biotecnología, CRISPR-Cas9, derechos humanos, edición genómica, ingeniería genética, patentes.
<b>Datos principales</b>	El texto se centra en la polémica relacionada con los derechos de propiedad intelectual y las patentes en torno a la tecnología de edición genética con el CRISPR-Cas9. Se menciona que el potencial de esta tecnología en biotecnología es enorme, con aplicaciones en medicina, medio ambiente, alimentación e industria, y se ha desatado una auténtica guerra de patentes. El texto señala que existe un conflicto en la titularidad de esta última, ya que su concesión conlleva la llegada de un monopolio temporal para la explotación de la invención durante 20 años a cambio de su divulgación. Además, el texto menciona que la titularidad de la patente sobre CRISPR-Cas9 está también vinculada con el enunciado del artículo 27.2 de la Declaración Universal de Derechos Humanos, en el que se afirma que “toda persona

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

	tiene derecho a la protección de los intereses morales y materiales que le correspondan por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas de que sea autora”. Por lo tanto, el texto explica que existe una polémica que afecta tanto a la titularidad de la patente sobre la edición genómica, como a la protección de los intereses morales y materiales que corresponden a los autores de la invención, y que esta inseguridad jurídica puede limitar o incluso frenar el progreso científico.
<b>Aportes a la investigación</b>	A diferencia del primer texto, este nos brinda información jurídica sobre las patentes del CRISPR/cas9 y aunque también habla de la monopolización del servicio, se centra en las aplicaciones médicas y terapéuticas que este puede llegar a tener. Menciona los choques de los derechos fundamentales como la libre expresión, desarrollo científico y el derecho a la vida e integridad física, al igual que los conflictos bioéticos al momento de la modificación en la línea germinal.
<b>Conclusiones</b>	El autor menciona que si bien la tecnología del CRISPR/cas9 tiene muchos campos de aplicación en la biotecnología, está limitada por la disputa de sus patentes y las consideraciones éticas que se tiene de esta misma, inhibiendo el proceso de su desarrollo científico y accesibilidad para las personas. Recalca que en un futuro a pesar de estos problemas podría ser utilizada para el tratamiento de enfermedades de origen genético, utilizada en la agricultura y medio ambiente

<b>Documento</b>	<b>3.Perspectivas de la edición genética (CRISPR/Cas9)</b>
<b>Datos bibliográficos</b>	Lima, N. S., Antonio, G., Soberón, María Victoria, & Isabel. (2020). Perspectivas de la edición genética (CRISPR/Cas9). <i>Conicet.gov.ar</i> . <a href="https://doi.org/0329-8442">https://doi.org/0329-8442</a>
<b>Pregunta problema</b>	¿Cuáles son las perspectivas de la edición genética con la tecnología CRISPR/Cas9?
<b>Palabras clave</b>	CRISPR/Cas9, perspectivas, tecnología.

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

<b>Datos principales</b>	<p>El artículo aborda la tecnología de edición genética CRISPR/Cas9, que permite realizar modificaciones precisas en el ADN de diferentes organismos, incluyendo humanos. Se describen las diferentes aplicaciones de esta tecnología en la investigación biomédica, la agricultura y la biotecnología, así como los posibles impactos sociales, éticos y legales que pueden surgir de su uso.</p> <p>Las perspectivas de la edición genética con CRISPR/Cas9 son amplias y prometedoras. Por ejemplo, se pueden utilizar para corregir mutaciones genéticas que causan enfermedades, desarrollar nuevos tratamientos para el cáncer y otras enfermedades de origen genético, crear plantas resistentes a plagas y enfermedades, mejorar la calidad y cantidad de alimentos.</p> <p>Sin embargo, también hay preocupaciones sobre el uso indebido de esta tecnología, como la posibilidad de crear "bebés de diseño" con características genéticas seleccionadas, y la posibilidad de que se produzcan efectos secundarios no deseados en los organismos editados. Por lo tanto, se necesitan regulaciones y políticas adecuadas para garantizar un uso responsable y seguro de la herramienta.</p>
<b>Aportes a la investigación</b>	<p>En esta ocasión el documento menciona la línea germinal y la idea de los dichos "bebés de diseño" analizándolo desde un lado ético. Esta es una idea importante para examinar los impactos de esta herramienta.</p>
<b>Conclusiones</b>	<p>La edición genética mediante el CRISPR/Cas9 ofrece grandes perspectivas en la investigación biomédica, la agricultura y la biotecnología. Sin embargo, también hay preocupaciones éticas y legales que deben abordarse adecuadamente. Es importante que se establezcan regulaciones y políticas adecuadas para garantizar un uso seguro y responsable de esta tecnología.</p>
<b>Documento</b>	<p><b>4. La protección de la diversidad en el patrimonio genético: implicaciones bioéticas y jurídicas en el uso de CRISPR-Cas9 como herramienta de edición genómica en humanos</b></p>
<b>Datos bibliográficos</b>	<p>Henrique, C., Ferraz, C. V., Rocha, J., Henrique, C., Ferraz, C. V., &amp; Rocha, J. (2020). La protección de la diversidad en el patrimonio genético: implicaciones bioéticas y jurídicas en el uso de CRISPR-Cas9 como herramienta de edición genómica en humanos. <i>Revista de Bioética Y Derecho</i>, 49, 77–91. <a href="https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1886-">https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1886-</a></p>

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

	<a href="https://doi.org/10.58872020000200006&amp;script=sci_arttext&amp;tlng=pt">58872020000200006&amp;script=sci_arttext&amp;tlng=pt</a>
<b><i>Pregunta problema</i></b>	¿Cuáles son las implicaciones bioéticas y jurídicas del uso de la herramienta de edición genómica CRISPR-Cas9 en humanos para proteger la diversidad en el patrimonio genético?
<b><i>Palabras clave</i></b>	Edición genómica, CRISPR-Cas9, diversidad genética, bioética, marco jurídico.
<b><i>Datos principales</i></b>	El artículo analiza las implicaciones bioéticas y jurídicas del uso de la herramienta de edición genómica CRISPR-Cas9 en humanos para proteger la diversidad en el patrimonio genético. Se destacan las posibilidades que ofrece esta tecnología para la prevención y tratamiento de enfermedades genéticas, así como su potencial impacto en la diversidad genética humana. El texto también aborda los aspectos bioéticos de la edición genómica en humanos, incluyendo los principios éticos que deben guiar su aplicación y los posibles riesgos y limitaciones que presenta. Por último, se examina el marco jurídico internacional y nacional que regula el uso de CRISPR-Cas9 en humanos y se identifican los desafíos que enfrenta la regulación en este ámbito.
<b><i>Aportes a la investigación</i></b>	Además de mencionar los aspectos positivos de la edición genética, cuestiona otras posibilidades que pueden desencadenar consecuencias negativas en la sociedad como el uso indebido de la herramienta y los riesgos que presenta. Recalcando que es importante la existencia de regulaciones con tal de que esta tecnología pueda prosperar. El texto brinda una aproximación a la resolución de los objetivos específicos del presente proyecto de investigación, tratando los temas de interés como los aspectos éticos.
<b><i>Conclusiones</i></b>	El artículo concluye que, si bien la edición genómica con CRISPR-Cas9 presenta grandes posibilidades en el ámbito de la salud, su uso debe ser cuidadosamente evaluado desde una perspectiva bioética y jurídica. La protección de la diversidad en el patrimonio genético humano es un aspecto fundamental a considerar en este sentido, ya que su preservación es esencial para el mantenimiento de la salud y la evolución de la especie humana. Por tanto, se hace necesario desarrollar un marco jurídico adecuado que permita el uso responsable y ético de esta tecnología, garantizando al mismo tiempo la protección de los derechos fundamentales de las personas.

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

<b>Documento</b>	<b>5. Un análisis ético de las nuevas tecnologías de edición genética: el CRISPR-Cas9 a debate</b>
<b>Datos bibliográficos</b>	Beriain, M., & José, E. (2018). Un análisis ético de las nuevas tecnologías de edición genética: el CRISPR-Cas9 a debate. <i>Anales de La Cátedra Francisco Suárez</i> , 52(52), 179–200.  <a href="https://revistaseug.ugr.es/index.php/acfs/article/view/6555">https://revistaseug.ugr.es/index.php/acfs/article/view/6555</a>
<b>Pregunta problema</b>	N/A
<b>Palabras clave</b>	Ética, edición genética, CRISPR-Cas9, seguridad biológica, efectos.
<b>Datos principales</b>	<p>Examina los aspectos éticos de la tecnología de edición genética CRISPR-Cas9. El sistema CRISPR-Cas9 se utiliza para editar el ADN de organismos vivos de una manera precisa y eficiente. El artículo analiza las preocupaciones éticas en torno al uso de esta tecnología, incluyendo las implicaciones para la privacidad genética, la justicia social, la seguridad biológica y la manipulación genética en humanos y animales.</p> <p>El análisis ético del CRISPR-Cas9 destaca que la edición genética tiene el potencial de curar enfermedades genéticas, mejorar la producción de alimentos y combatir enfermedades infecciosas. Sin embargo, también existen preocupaciones éticas en torno al uso de esta tecnología, como la posibilidad de crear desigualdades sociales y económicas a través de la selección genética, así como el riesgo de efectos no deseados en el medio ambiente y la salud humana. El artículo también discute la necesidad de regulación y transparencia en la investigación y el uso de la tecnología de edición genética.</p>
<b>Aportes a la investigación</b>	Si bien al igual que los otros documentos recalca la parte ética, este abre un debate mencionando aspectos como la futilidad de la herramienta, pérdida de identidad, el respeto de la integridad en los seres humanos, los riesgos que están asociados al CRISPR/cas9. En general es una antítesis a los anteriormente revisados, algo que será útil para el análisis de resultados y las conclusiones del presente documento.
<b>Conclusiones</b>	En conclusión, el artículo destaca la importancia de abordar las preocupaciones éticas en torno al uso de la tecnología

## EL CRISPR/CAS9 Y SUS IMPLICACIONES EN LA BIOMEDICINA MODERNA

	<p>CRISPR-Cas9 y la edición genética en general. La discusión y el debate sobre los posibles riesgos y beneficios de esta tecnología son cruciales para garantizar su uso responsable y ético en el futuro. La regulación y la transparencia en la investigación y el uso de la tecnología de edición genética son necesarias para minimizar los riesgos y maximizar los beneficios para la sociedad y el medio ambiente.</p>
--	---