

Planteamiento de una propuesta de enseñanza de transcripción y traducción de ADN en estudiantes de 14 a 16 años: V Congreso Latinoamericano de Investigación en Didáctica de las Ciencias 2020

Juan David Bermudez Diaz
Universidad del Valle
Juan.bermudez.diaz@correounivalle.edu.co

Línea temática: Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia y Naturaleza de la Ciencia.
Modalidad: 1

Resumen

Para realizar una actividad en el marco de la enseñanza de transcripción y traducción del ADN en estudiantes de 14 a 16 años, se realizó una breve descripción en la cual se identificaron elementos que caracterizan el impacto social que conlleva la patente de la científica Jennifer Doudna. Como resultado, se hizo mención de analogías para comprender la temática y de implicaciones éticas acerca de una tecnología de edición genética. Esto permitió el desarrollo de la actividad por medio de un debate enmarcado en el impacto que genera la técnica. Como conclusión, se obtiene que estas implicaciones son importantes para avanzar en el mejoramiento de la calidad de vida humana, pero hay una gran responsabilidad en el manejo de esta tecnología. Finalmente, para futuras investigaciones, sería pertinente aplicar la propuesta en el aula para examinar la calidad de los resultados.

Palabras clave

Contexto social, Síntesis de proteínas, Edición genética, Analogías

Objetivos

- Realizar una retrospectiva de la historia de las ciencias alrededor de la edición genética incluyendo el papel de la científica Jennifer Doudna.
- Analizar un texto científico histórico (TCH) de la científica Jennifer Doudna.
- Plantear una propuesta de enseñanza de transcripción y traducción en el marco de los impactos sociales que tienen las nuevas tecnologías.

Marco teórico

El trabajo desarrollado desde el pasado hasta ahora por muchas científicas como Lise Meitner (1878-1968), Wu Chien-Shiung (1912-1997), Harriet Brooks (1876-1933), entre otras, se ha visto marginado por la relevancia y superioridad que se le da al hombre en el ámbito científico (Álvarez, Nuño & Pérez, 2006). Por esta razón, se busca resaltar el trabajo de la científica Jennifer Doudna a través de un videopodcast que puede ser revisado desde el contexto de la científica, en el que describe una técnica sobre la edición del ADN.

El podcast es una conferencia TED dada por la bioquímica en el año 2015 en London, donde se expone la técnica Crispr-Cas9 como una nueva tecnología que le permite a los expertos en genoma modificar estructuras del ADN de las células ya sea eliminando o agregando material genético (Doudna, 2015). Para entender esto, es pertinente hacer un recorrido histórico alrededor de la edición genética.

Con estos aspectos se puede hacer uso del texto científico histórico (TCH) en la enseñanza de las ciencias, sin embargo, hay que recurrir a ciertos modelos didácticos que promueven el diseño de una clase de ciencias apoyada en esta herramienta. Más adelante se analizará el video podcast de Doudna (2015) y se llevará a un ámbito educativo por medio de la esquematización de una actividad haciendo uso de las analogías que presenta TCH para la enseñanza de transcripción y traducción de ADN teniendo en cuenta el impacto social de las nuevas tecnologías (Quintanilla & Merino, 2008).

Importancia histórica y actual de la edición genética.

Desde los aportes dados por Mendel (1822-1884) en el siglo XIX (Fierro, 2001) es posible hablar de un proceso genético como de la edición del genoma para mejorar la calidad de vida en muchas especies, ya sea para combatir enfermedades como para asignar un carácter específico al individuo que se desea modificar. Según Knox (2015), la contribución que ha tenido la ingeniería genética desde los años 70's respecto al tema del ADN les permitió a los científicos avanzar en las investigaciones tanto de su composición, estructura, procesos, como de los cambios generados por distintas circunstancias, estos avances se hicieron más específicos y exactos gracias a la producción de proteínas que permiten cortar el ADN en regiones o secuencias de nucleótidos de interés.

La base más importante para el trabajo de Doudna, fue la desarrollada por el microbiólogo Francisco Mojica (1963), desde 1993 cuando detalló unas secuencias repetidas en las bacterias *Haloferax mediterranei* que hasta el año 2002, junto a Ruud Jansen (sin datos), llamaron Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas (CRISPR) (Berlanga & Guerrero, 2017). Otro personaje que contribuyó al trabajo de la científica ha sido Rosalind Franklin (1920-1958) con su descubrimiento de la doble hélice del ADN en una época donde muchos científicos veían mayor valor en las potencialidades genéticas presentes en el ADN (Silva, 2010a; Ortiz & Silva, 2016, como se citaron en García & Díaz, 2016); gracias a sus estudios aportó a la investigación sobre el almacenamiento de información genética en él y, por ende, su modificación.

Los procesos de transferencia de información propuestos por Watson y Crick en 1953, y también de otros científicos(as) como Wilkins (1916-2004), Stokes (1919-2003), Wilson (1929-2008), etc. (Moreno, 2003), han permitido diversificar las investigaciones en torno a cómo se pueden hacer modificaciones en la estructura misma del ADN de acuerdo a las necesidades que tengamos, por ello, técnicas como el "(...) TALENs, el sistema de nucleasa Crispr-Cas guiado por ARN" (Ran, et al., 2013) y el sistema Crispr-Cas9 patentado por Doudna en el 2012 han permitido que se efectúe un proceso de transcripción especializado para no permitir el daño por el organismo viral.

Es posible analizar que el trabajo de Doudna, a pesar de ser un avance para la ciencia que puede llegar a mejorar la vida humana, las opiniones sobre ello se encuentran divididas, pues

se piensa que dicho método traiga consigo consecuencias colaterales a futuro. Sin embargo, sus frutos tanto para la calidad de vida de muchas especies como en el incremento de los beneficios en el mercado proporcionan que se tengan expectativas positivas al respecto. Retomando lo mencionado por Sánchez (2017), muchas investigaciones referentes con Crispr no se encaminaban hacia la variación del genoma humano, sino que tenía una función un poco distinta (aplicaciones industriales o requerimientos de orden militar).

Los bajos costos que conlleva la técnica Crispr (Insaurralde, 2017) y las diferentes aplicaciones que puede llegar a tener como lo serían el control y reconocimiento de ciertas enfermedades, modificación de caracteres específicos, etc., hacen que ésta sea de gran relevancia para la sociedad actual. La importancia que conlleva actualmente la edición del genoma a través de Crispr es la utilización regulada y cautelosa del mismo, por ello, su investigación actualmente en el campo de la biotecnología y la ingeniería genética es tan relevante para lograr disponer de una técnica con seguridades óptimas (Doudna, 2015).

Historial investigativo de Jennifer Doudna (1964)

Realizó su doctorado en bioquímica donde se interesó por el ARN, describiendo desde diversos aspectos el carácter enzimático de la molécula, contribuyendo con distintos argumentos científicos para defender esta idea. En el 2012, Doudna y sus compañeros, descubrieron el Crispr-Cas9, obteniendo posibilidades para tratar enfermedades. Ha participado en dos estudios históricos donde resuelve las estructuras de cristal de dos largos ARNs, describiendo enfermedades asociadas a estas estructuras, como la hepatitis C. Jennifer Doudna ha sido galardonada por el Premio Académico Searle (1996) y el Premio de la Academia Nacional de Ciencias por Iniciativas en Investigación (1999), también es investigadora en el Instituto Médico Howard Hughes y la American Academy of Arts and Sciences Fellow. En 2002, fue escogida como miembro de la Academia Nacional de Ciencias por sus aportes al campo de la bioquímica.

Metodología: una propuesta de análisis de *TCH*

Los aspectos procedimentales estuvieron orientados por trabajos previos de Cabrera (2017), Muñoz, Valencia y Cabrera (2017), y Cabrera y Villa (2019) en los cuales se han efectuado varios análisis de *TCH*, en este sentido, el estudio se adscribió a un enfoque interpretativo dentro de la metodología cualitativa (Latorre, del Rinón, & Arnal, 1996). Las dos fases ejecutadas para la obtención de los datos y su respectivo procesamiento fueron:

- La fase de *pre-análisis* consistió en preparar el corpus de datos que fueron analizados, se inició con una lectura “superficial” para acercarse a la información contenida en el *TCH*, además, la información fue transcrita mediante un procesador de textos comercial (Word) para facilitar la lectura y elección de información para el análisis y sobre todo para poder realizar la traducción del mismo.
- La fase de *análisis* tuvo en cuenta la perspectiva del análisis histórico cuyo propósito radicó en establecer un diálogo con las científicas para construir desde una mirada educativa nexos con el conocimiento educativo (Ayala, 2006; García, 2009). En este caso se formularon preguntas como: ¿Cuáles son las ideas fundamentales de las científicas? ¿Cuáles fueron los aportes elaborados al campo

científico que pertenecían? ¿De qué manera se puede reconsiderar los hallazgos en la enseñanza de las ciencias? ¿Qué experimentos elaboraron?

Descripción de aspectos éticos del TCH

De acuerdo a la escasa participación que ha tenido la mujer en la ciencia, al igual que la poca relevancia que se le da a aquellas que realizan algún trabajo en ésta, en el siguiente análisis se tomará el TCH seleccionado para conocer qué otras científicas han sido partícipes del desarrollo de la técnica Crispr. Además, como puntos claves del análisis se tendrán en cuenta las implicaciones éticas que están sujetas al desarrollo final de Crispr-Cas9 como una aplicación clínica y la identificación de analogías que servirán de insumo para la propuesta de enseñanza de transcripción y traducción de ADN.

En la conferencia llevada a cabo por la profesora Doudna en el 2015 en la organización TED acerca de la patente sobre una nueva tecnología llamada Crispr-Cas9 desarrollada para la edición genética, se hace mención a otra importante científica en el campo de la bioquímica como lo es Emmanuelle Charpentier (1968) siendo otra de las creadoras de la nueva técnica Crispr la cual permite el corte y degradación del ADN viral.

A lo largo de la conferencia se hace mención de las investigaciones de científicos tanto en China como en Filadelfia sin hacer una especificación acerca de quiénes son exactamente los partícipes de los estudios. Sin embargo, en la búsqueda de dichos científicos se encontró información específica de los hombres que trabajan en las investigaciones dando a entender que éstos se encuentran en mayor cantidad en el ámbito científico y que las mujeres que pueden hacer parte de las mismas no se les otorga la relevancia que ameritan.

Por otra parte, para fortalecer la narrativa usada en la clase, se identificaron analogías usadas por la científica. La primera de ellas es la semejanza que puede llegar a tener una infección viral respecto a una bomba de relojería, pues ambos tienen unos pocos minutos antes de que sea destruido o cause un incidente; claramente hay que tener en cuenta que muchas células (bacterias) tienen la capacidad de responder más fácilmente a un invasor no identificado que una persona desactivando una bomba. Una segunda analogía es cómo el locus Crispr puede funcionar como una tarjeta de vacunación para la célula pues ahí se guarda el registro genético de los distintos virus que la han infectado, preservando esa información para las próximas generaciones de células. Las pequeñas secciones en las que el ADN puede dividirse (trozos de información que se extraen o adicionan) se relacionan con la unidad mínima de información denominada en la informática como *bits*. Doudna también relaciona al ARN y al ADN como primos químicos, ya que tienen información genética similar, lo que permite una interacción entre moléculas. Otra analogía usada es entre el complejo formado por el ARN y el locus Crispr con un centinela en la célula, pues este complejo funciona como guardia de observación para que se genere una respuesta en la célula y finalmente se corte el ADN viral. Igualmente, dicho complejo Cas9 funciona como un par de tijeras que cortan el ADN.

Así mismo, otra analogía que expresa Doudna son los cambios que se generan en el ADN de las células junto al programa de procesamiento de textos ya que los dos hacen correcciones en partes específicas ya sea del ADN o del documento. La científica también expresa cierta similitud que hay entre la ingeniería del genoma con un computador dado que

cada vez que se requiere un nuevo software éste se reconecta, así como dicha ingeniería busca técnicas más sencillas pero eficientes, tomándose de este modo a Crispr como un software para el genoma.

Finalmente, las implicaciones éticas que conllevan el uso de Crispr-Cas9 en humanos es un asunto que, de acuerdo con Doudna, debe tomarse cuidadosamente. Dado que la diversidad de opiniones siempre se presenta en el ámbito científico, es fundamental dialogar acerca de ello y conocer los impactos que puede llegar a generar una tecnología como ésta, teniendo en cuenta que constantemente se quiere llegar a mejorar la condición humana. Sin embargo, científicos de países como China han decidido simplemente avanzar y hacer caso omiso al llamado hecho por la científica, pues existe información sobre el uso de Crispr-Cas9 para el diseño de unas gemelas. Siendo éste un punto a discutir respecto al objetivo que cada grupo científico tiene con cada nueva tecnología que se crea y la manera en la que deciden encaminarse con ella, vemos importante resaltar que el llamado a una pausa mundial hecho por Doudna es para que la comunidad científica no tome decisiones apresuradas por el simple hecho de querer avanzar, sino que por el contrario, analice con mayor detenimiento los efectos involuntarios por la utilización de dicha técnica así como los posibles elementos fuera de objetivo.

Resultados

Aportes a la enseñanza de las ciencias

Como resultado de la descripción del TCH, se extrajeron elementos importantes como las analogías y cuestiones éticas y morales que posee la ingeniería genética y específicamente en el trabajo de Doudna.

Se escogieron estudiantes con edades entre 14 y 16 años, puesto que el estándar de educación en ciencias (Ministerio de Educación Nacional, 2008) que mejor abarca el objetivo de la actividad corresponde a ese rango de edad y el TCH permite su cumplimiento. Los objetivos a desarrollar con esta secuencia de actividades, son los siguientes:

Objetivos.

General: Identificar una aplicación de algunos conocimientos sobre la herencia, reproducción y su implicación en el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones.

Específicos:

- Identificar la utilidad del ADN como herramienta de análisis genético.
- Reflexionar acerca de las implicaciones éticas y morales de una tecnología genética.
- Utilizar analogías para explicar los procesos de transcripción y traducción.

El modelo didáctico que se usará para cumplir estos objetivos es el modelo por investigación descrito por Ortega (2007). Este consiste en el planteamiento de un problema sobre el cual los estudiantes van a usar diferentes medios que servirán para comprender el proceso y para

la solución a una pregunta problema, donde se pueden dar diferentes puntos de vista sobre la ciencia detrás de esta tecnología en desarrollo.

Se dará inicio con la siguiente pregunta de contexto que lleve a pensar en lo que saldrá en el video cuando se presente.

Pregunta problema. Situación Jennifer Doudna:

¿Es posible decidir cómo serán los humanos del futuro? Si es así, ¿Cómo se podría lograr? Si no, ¿Cuáles son los limitantes?

Esta pregunta va a intentar ser resuelta por los estudiantes en primera instancia, con el fin de discutir a partir de los conocimientos previos que poseen, generando la necesidad de resolver la incógnita con argumentos sólidos y para resolverla se debe entender el proceso de replicación, transcripción y traducción del ADN, el cual será guiado por el docente a partir del análisis de las analogías presentadas en el podcast. Las analogías son explicadas por Felipe, Gallarreta & Merino (2006) en la que primero se presentan los conceptos en los que se usará la analogía, luego se muestra el análogo, se establece una relación entre el análogo y el concepto, si es necesario, se delimitan los puntos donde no hay una correspondencia entre las dos y finalmente se concluye dando las principales características del concepto. Sin embargo, por efecto del material utilizado, es adecuado realizar primero la acción con el análogo y luego explicar el concepto que puede explicar la analogía, posteriormente, se seguiría la secuencia de Felipe, Gallarreta & Merino (2006). De esta manera procederemos a definir el análogo para transcripción y traducción. A continuación, se lista un resumen de las analogías identificadas:

- Cambios en el ADN de las células con un programa de procesamiento de textos.
- ARN y al ADN como primos químicos.
- La semejanza entre una infección viral respecto a una bomba de relojería.
- La ingeniería del genoma con un computador.
- El locus Crispr como una tarjeta de vacunación para la célula.
- Complejo formado por el ARN y el locus Crispr como un centinela en la célula.
- Dicho complejo Cas9 funciona como un par de tijeras que cortan el ADN.

Después de revisar estos conceptos, es necesario hacer énfasis en que si algún día se inventa una tecnología que modifique el genoma humano, se puede decidir sobre las características físicas y fisiológicas de un ser humano, puesto que se modifica la fracción de ADN donde se encuentra la información genética que va a traducirse en una proteína asociada a dichas características. Sin embargo, esta tecnología desencadenaría una serie de acontecimientos sociales, los cuales también deben ponerse en discusión, para ello, se presentará un podcast donde Jennifer Doudna explica cómo funciona su nueva patente para la edición genética.

Debate sobre aspectos sociales de la edición genética.

Objetivo: Poner en discusión cuestiones éticas y morales de la tecnología para editar ADN.

Material: Podcast de Jennifer Doudna.

La actividad se va a dividir en tres momentos, los cuales serán:

Momento 1. Se formarán dos grupos grandes. Luego se presentará el videopodcast. Se presenta un espacio para resolver dudas acerca de aspectos del video que no se hayan entendido por parte de los estudiantes.

Momento 2. Se aplicará un juego de roles en el que un grupo mencione las ventajas de la tecnología CRISPR y defienda su patente en cuanto a distintas temáticas abordadas en el video, mientras que el otro va a destacar la contraparte de la patente. Al iniciar el debate se partirá de lo que propongan los estudiantes como ventaja y desventaja. En este punto el docente es únicamente un mediador entre los argumentos propuestos. Se tienen las siguientes preguntas como eje conductor del debate.

- ¿Existe algún impacto negativo en que la tecnología CRISPR logre eliminar virus o enfermedades que hasta ahora no tenían cura, cómo el VIH? Si es así, ¿Cuál sería?
- ¿Cuáles son las posibles consecuencias de que se implemente en humanos inmediatamente este tipo de tecnología? ¿Es necesario hacer una pausa antes de implementarlo?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la experimentación animal en esta patente, teniendo en cuenta que han permitido el desarrollo de este tipo de tecnologías? ¿Que podría suceder si la experimentación de la tecnología fuera en humanos desde un principio?
- Esta tecnología permite crear humanos con características que posiblemente prolonguen el promedio de vida ¿Cuál es el impacto de prolongar la vida de los seres humanos?
- ¿Cuál es la importancia de que los científicos piensen en otros campos de la ciencia y evalúen el impacto social del conocimiento científico?

Momento 3. El docente cierra el juego de roles e interviene aclarando sobre cuestiones que generaron dificultad para entender algún tema, luego abre un espacio para que los estudiantes opten por una conclusión donde se hace énfasis en que es posible que ambos grupos puedan tener razón, porque la ciencia está mediada por los problemas que enfrenta una sociedad y el conocimiento científico no es ajeno a estos (Fernández, Carrascosa, Gil Cachapuz & Praia, 2002), por lo que se pueden presentar diversas perspectivas con la aparición de nuevos conocimientos y tecnologías, lo importante es conocer la realidad científica del mundo moderno y hacer que se den estos espacios de discusión para poder adoptar una posición crítica.

Conclusiones

Científicas como Jennifer Doudna, han logrado prosperar en esta ardua carrera diseñando tecnologías que años atrás sólo eran pensadas como ilusiones muy lejanas y hasta inalcanzables. Sin embargo, las implicaciones (principalmente de carácter ético) que conlleva el descubrimiento de novedosas técnicas son bastante importantes para lograr dar el siguiente paso en la mejora de la calidad de vida humana. Lo que determina la necesidad de realizar estas actividades que desde ya promuevan un pensamiento crítico por parte del estudiante, consiguiendo generaciones que puedan tener voz y voto sobre las decisiones que se tomen en el marco del uso de estas tecnologías. Para valorar las actividades, sería necesario poner en práctica las mismas en futuras investigaciones y revisar los resultados obtenidos, de esta manera sería posible determinar diferentes variables dentro del aula de clases, como las dificultades que la actividad presenta gracias al análisis de cómo se dio el aprendizaje con estas actividades.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, M., Nuño, T., & Pérez, U. (2006). Utilización didáctica de la historia de las ciencias: mujeres en ciencia nuclear. *Tecné, Epistemé y Didaxis*. (20), 42–61.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*. 17(1), 19–37.
- Berlanga, M., & Guerrero, R. (2017). La complejidad de lo simple: la célula bacteriana. *Química viva*, 2017. 16(2), 11-19.
- Cabrera, H. G. (2017). Diseño de situaciones-problema para la enseñanza de la química, a partir del análisis histórico de experimentos de combustión en M. Quintanilla (Ed.), *La historia de la ciencia en la investigación didáctica, aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias* (Primera ed, pp. 103–120). Santiago de Chile: Editorial Bellaterra.
- Cabrera, H. G., & Villa, M. D. (2018). Diseño de unidades didácticas a partir de estudios de caso histórico científicos en H. G. Cabrera (Ed.), *Educación en biología: Aportes de estudios históricos al diseño de unidades didácticas* (Primera ed, pp. 15–30). Cali: Universidad del Valle.
- Doudna, J. A. (2015). How CRISPR lets us edit our DNA [Video podcast]. Recuperado de: https://www.ted.com/talks/jennifer_doudna_we_can_now_edit_our_dna_but_let_s_do_it_wisely?language=es
- Felipe, A., Gallarreta, S., & Merino, G. (2006). Aportes para la utilización de analogías en la enseñanza de las ciencias. Ejemplos en biología del desarrollo. *Revista iberoamericana de educación*. 37(6), 1-9.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., & Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 20(3), 477-488.
- Fierro, A. (2001). Breve historia del descubrimiento de la estructura del ADN. *Rev Méd Clínica Las Condes*. 12(2), 71-75.
- García C. A., & Acevedo, J. A. (2016). Rosalind Franklin y la estructura molecular del ADN: un caso de historia de la ciencia para aprender sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Científica*. 2(25), 162-175.

- García, E. G. (2009). Historia, epistemología y enseñanza de las ciencias; caso mecánica de fluidos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. (Número Extra), 1256–1260.
- Insaurralde, A. (2017, junio, 9). Editar la vida: la revolución biotecnológica de CRISPR/CAS. *Ciencia del sur*. Recuperado de <https://cienciasdelsur.com/2017/06/09/crisprcas-futuro-revolucion-biotecnologia/>
- Knox, M. (2015). La edición genética más precisa. *Investigación y ciencia*. (461), 18-22.
- Latorre, A., del Rinón, D., & Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa* (Primera Ed). Barcelona: Gràfiques.
- Ministerio de Educación Nacional. (2008). *Estándares básicos de competencias en ciencias sociales y ciencias naturales*. Recuperado de: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf3.pdf
- Moreno, S. (2003). Las bodas de oro de la estructura del ADN: comienzo de la Biología Molecular. *Química Viva*. 2(1), 29-31.
- Muñoz, F., Valencia, E., & Cabrera, H. G. (2017). Situaciones Científicas Escolares Problematicadoras a partir del análisis del Experimento V de Robert Boyle. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 14(1), 115–125.
- Quintanilla, M., & Merino, C. (2008). Elaborar unidades didácticas incorporando la historia de la ciencia en C. Merino, A. Gómez, & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Área y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Primera ed, pp. 149–168). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Ran, F. A., Hsu, P. D., Wright, J., Agarwala, V., Scott, D. A., & Zhang, F. (2013). Genome engineering using the CRISPR-Cas9 system. *Nature protocols*. 8(11), 2281-2308.
- Ortega, F. J. R. (2007). Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*. 3(2), 41-60.
- Sánchez, J. M. (2017, abril, 7). CRISPR, una historia científica intrincada. *El cultural*. Recuperado de: <https://elcultural.com/CRISPR-una-historia-cientifica-intrincada>