



---

## La visión de Julian Savulescu sobre el problema bioético de la edición genética

Tiago Miguel Rosa García<sup>1</sup>

---

*Resumen:* Las técnicas de edición genética han acercado en el tiempo muchas de las posibilidades que se atribuían a la modificación del genoma de los seres vivos. En especial, cobró gran importancia internacional una de ellas, CRISPR/Cas9, que nos da la posibilidad de editar nuestros cultivos y animales para mejorar nuestra salud. Sus usos también se extienden a los seres humanos, por lo que puede destinarse a fines terapéuticos. Sin embargo, la edición genética también tiene el potencial de ir más allá de la curación de estas enfermedades, y constituirse como un método de mejoramiento humano. En las siguientes páginas trataremos de describir las características de la tecnología CRISPR para averiguar cómo funciona. A continuación, averiguaremos cuáles han sido las limitaciones morales que la comunidad de expertos ha querido imponer para el desarrollo de la edición genética. Finalmente, expondremos los argumentos de Savulescu a favor de un imperativo moral para la mejora genética de nuestra sociedad, que consta de una interpretación particular del principio de precaución y el dilema de las generaciones futuras.

*Palabras claves:* CRISPR/Cas9; Edición Genética; Mejoramiento Humano; Consecuencialismo; Principio de Precaución.

---

<sup>1</sup> tiago.rosa1997@gmail.com, Universidad de Salamanca

## INTRODUCCIÓN

La edición genética es un conjunto de técnicas que permiten insertar, sustituir o eliminar el material genético de los organismos vivos con mucha facilidad. En los últimos años, estos procesos biotecnológicos han experimentado un impulso gracias a la aparición de un método nuevo, CRISPR/Cas9, mucho más eficiente, fiable y versátil que cualquier anterior. La llegada de CRISPR ha abierto grandes posibilidades en el campo de la biotecnología. Gracias a él, estamos cada vez más cerca de aplicar la edición genética a la salud humana, creando terapias génicas que solucionen enfermedades, o a la agricultura, modificando cultivos para mejorar nuestra alimentación.

No obstante, a pesar de los beneficios potenciales de las nuevas biotecnologías genéticas, no todas sus aplicaciones son aceptadas de igual forma por toda la sociedad. Los experimentos de CRISPR con embriones en los últimos años, y el reciente nacimiento de dos gemelas genéticamente modificadas en China, han generado grandes polémicas en las opiniones de la ciudadanía y los expertos. Las dudas morales que ha causado la temprana aplicación de la edición genética en humanos han sido el motivo para que investigadores de todo el mundo se reúnan en varios convenios internacionales (The National Academies of Science, Engineering and Medicine, 2015, 2019). Estos diálogos se han celebrado con el fin de construir un camino para el desarrollo de la edición genética dentro de los marcos de la legalidad y la moral (Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing, 2019).

Al tiempo en que la comunidad científica se encargaba de estas cuestiones, en el campo de las éticas aplicadas, los autores de la corriente del consecuencialismo reflexionaban acerca del problema bioético de la edición genética. La amplia mayoría de la bibliografía que trata este dilema cuenta con la autoría o participación de filósofos de esta tradición. Por ello, podemos afirmar que este enfoque de la ética aplicada es el que más desafíos ha planteado e interrogantes ha resuelto en el tiempo de desarrollo de las nuevas biotecnologías genéticas. Además, dentro de esta corriente, el autor que ha efectuado un análisis más exhaustivo de las implicaciones morales de estas innovaciones ha sido Julian Savulescu.

Es por ello que, en este trabajo, nuestro objetivo será el de exponer el problema bioético de la edición genética junto con las ideas del pensador británico. Comenzaremos describiendo cómo funciona la tecnología CRISPR, qué usos tiene y qué condiciones

morales se han impuesto para su aplicación. Después, expondremos los argumentos de Savulescu a favor del uso de la edición genética en embriones y como forma de mejoramiento en los seres humanos. Finalmente, relacionaremos estos argumentos con las consideraciones del filósofo consecuencialista sobre el principio de precaución y el bienestar de las generaciones futuras.

#### LA EDICIÓN GENÉTICA Y LA TECNOLOGÍA CRISPR/CAS9

Prácticamente desde la aparición de la agricultura y la ganadería, el ser humano ha venido mejorando sus métodos de selección y mejora genéticas, que en un inicio se aplicaron en animales y plantas. Después de la Segunda Guerra Mundial, se idearon los procesos de mutagénesis, que generaban diversidad genética en los organismos a través de mutaciones causadas por factores físicos o químicos. Más recientemente, a partir de los años ochenta, surgieron los transgénicos, organismos con genes específicos, extraídos de seres vivos externos, que les conferían características nuevas, beneficiosas para ellos mismos o para su utilidad en procesos posteriores de producción (Montoliu, 2019: 134-135).

Estas formas más tradicionales de ingeniería genética se caracterizaron por introducir el contenido genético en el genoma de los seres vivos de manera azarosa. Los cambios ocurrían en pocos individuos dentro de grandes poblaciones de cultivos o animales. La edición genética, por el contrario, nos permite realizar inserciones de genes en localizaciones muy concretas del genoma. La transgénesis, por su parte, permitió realizar alteraciones directas en cada uno de los organismos. Esta diferencia cualitativa fundamental es la que ha otorgado un potencial enorme a las herramientas de edición genética desde su descubrimiento (Montoliu, 2019: 135). La más importante de ellas es CRISPR/Cas9, descubierta en el año 2012 (Charpentier & Doudna *et al.*: 2012).

En esencia, la técnica CRISPR no permite nada nuevo que no permitieran anteriores formas de edición genética. Sin embargo, se distancia cuantitativamente de sus antecesoras, al ser mucho más eficiente, precisa, fiable y barata. En este sentido, CRISPR ha supuesto una revolución en la biotecnología: es capaz de modificar genes concretos con una probabilidad mucho mayor que cualquier otra forma de manipulación genética. Es útil allá donde sea necesario sustituir o eliminar un gen, ya sea en la investigación científica, la salud, la agricultura o la ganadería (Montoliu, 2019: 135-136).

No obstante, a pesar de postularse como la mejor técnica para modificar el genoma y traer numerosos beneficios, CRISPR también comporta riesgos. En el caso de las herramientas de edición genética, todas ellas ocasionan, en mayor o menor medida, cambios indeseados en el genoma de los organismos que se quieren modificar, si bien con CRISPR se han dado en considerable menor medida. Estos fallos en la edición se denominan *off-target effects*. Un segundo problema es el “mosaicismo”, que consiste en que, una vez que se introduzca una característica en un organismo, parte de sus células la incorporen, mientras que otras no, formando mosaicos entre las células modificadas y aquellas que no lo están (Gyngell & Munsie, 2018).

Los mayores expertos en CRISPR han declarado que estas limitaciones constituyen pequeñas advertencias no definitivas de que no debemos depositar toda nuestra confianza en la nueva técnica (Mediavilla, 2018). Debemos ser prudentes, pues todavía queda mucho por conocer sobre el recién llegado editor de genes. A pesar de ser mucho más fiable que sus antecesores, algunos de sus riesgos son aún desconocidos. Además de esto, ninguna tecnología escapa a la posibilidad ser sustituida por una mejor. Existen hoy día en los laboratorios técnicas de edición que podrían reemplazar a CRISPR en un futuro (Ledford, 2015).

#### USOS E INTENTOS DE APLICACIÓN DE CRISPR

Inmediatamente después del descubrimiento de CRISPR se iniciaron numerosos experimentos tratando de mejorar su funcionamiento. Primero llegaron las intervenciones en microorganismos, después en las plantas, y finalmente en células animales y humanas. Pero los experimentos que sin duda más interés y polémica han causado son los relacionados con embriones. Este tipo de estudios se llevaron a cabo, supuestamente, para averiguar la capacidad de acierto real con la que CRISPR contaba en las células humanas. La mayoría se dieron en territorios con una legislación poco clara o inexistente.

La primera edición genética en embriones en la historia de la investigación biomédica causó un gran impacto en la comunidad internacional de expertos. Ocurrió en China, en abril de 2015 (Huang, 2015). Un equipo de científicos decidió evaluar el funcionamiento de CRISPR en embriones humanos no viables —es decir, embriones con complicaciones que nunca podrían implantarse en un útero. Tan solo un porcentaje reducido de embriones logró editarse con pleno éxito. Esta primera intervención demostró

que la técnica se encontraba bien lejos de ser utilizable en embriones para cualquier propósito pensable (Cyranoski & Reardon, 2015). Tan solo un año después, un segundo intento de aplicación muy similar ocurriría en el mismo país. En esta ocasión, científicos de la misma universidad que los del primer estudio, modificarían una veintena de embriones inviábiles tratando de inmunizarlos ante el VIH. Solo se modificó con éxito a cuatro de ellos (Callaway, 2016).

En 2017, a pesar de las advertencias de la comunidad científica y peticiones para parar con las intervenciones, se realizaría en Estados Unidos la primera edición con relativo éxito de CRISPR en embriones. Se consiguió eliminar una enfermedad hereditaria de la línea germinal de un porcentaje elevado de ejemplares (Ledford, 2017).

Por último, en noviembre de 2018, el científico chino He Jiankui y su equipo investigador solicitaron un proyecto con el que CRISPR se usase para modificar embriones humanos, para después transferirlos a un útero y generar embarazos reproductivos. El plan consistía en eliminar el gen causante del VIH en la línea germinal de los embriones, en aras de reducir considerablemente la probabilidad de que los futuros niños portasen esa enfermedad. Por ello, para su experimento, He reclutó parejas de progenitores cuyo padre fuese seropositivo. Estas parejas no fueron debidamente informadas de lo que supondría editar genéticamente a sus hijos. Posteriormente, el científico modificó a dos gemelas de una pareja de las que decidieron embarcarse en el estudio (Santirso, 2019). Finalmente, nacerían nueve meses después<sup>2</sup>.

Estos intentos de aplicación de CRISPR en embriones fueron vistos como innecesarios por la gran parte de la comunidad científica. Poco tenían que aportar al conocimiento que ya existía en la investigación básica, pues era ya sabido que en células animales CRISPR presentaba un estado inmaduro, que no permitiría realizar ninguna modificación útil a células embrionarias. Estos mal llamados experimentos fueron el motivo principal para que distintos grupos de expertos se reuniesen para debatir sobre la edición genética. Algunos concluyeron que era necesario aprobar una moratoria para la

---

<sup>2</sup> La razón por la que esta intervención fue condenada moralmente por toda la comunidad científica y gran parte de la sociedad, es que es sumamente reducida la probabilidad de que un hijo nazca con el virus del VIH por transmisión paterna. Las futuras hijas de la pareja, sin la edición, seguramente nunca hubiesen desarrollado la enfermedad en toda su vida. La comunidad científica se preguntó, entonces, qué razón de peso existía para aplicar la edición genética en estos embriones con fines reproductivos.

edición genética de los seres humanos destinada a fines reproductivos (Lanphier *et al.* 2015).

Por otra parte, y a pesar de las arriesgadas e innecesarias intervenciones con embriones, que no han provocado más que rechazo en la sociedad, la edición genética ha demostrado tener éxito y ser útil en otros ámbitos. Por ejemplo, en 2016 se aprobó el primer ensayo clínico con CRISPR en humanos en Estados Unidos, con el fin de encontrar una solución terapéutica a varios tipos de cáncer (Domínguez, 2016). Los resultados que se obtuvieron fueron mejores de lo esperado y prometedores, según los investigadores líderes. Este tipo de investigaciones acercan a CRISPR a convertirse en una alternativa para la cura de enfermedades somáticas.

Por otro lado, en lo que concierne a procedimientos con animales, con CRISPR ya se han editado los ganados bovino y porcino para hacerlos más resistentes a las enfermedades virales (Reardon, 2016). Las empresas interesadas en la edición genética planean generar modificaciones en este tipo de animales para incrementar la producción de alimentos y abaratar sus costes. Aparte, se ha utilizado CRISPR para el control de plagas que producen enfermedades. En 2018 se erradicó la malaria en una población de mosquitos portadores de la enfermedad (Martín, 2018).

Finalmente, en los últimos años ha comenzado la producción de cultivos modificados con CRISPR. En Estados Unidos, una variante del maíz modificada con CRISPR se aprobó para la comercialización (Cohen, 2019). Varias compañías del país americano utilizan la técnica para mejorar sus poblaciones de plantas (Taylor, 2019). Estas mejoras de cultivos se han dado dentro de los marcos legales y la permisión de las instituciones a cargo de la salud y la alimentación de sus respectivos países. No se ha detectado, por el momento, que estas ediciones con CRISPR hayan provocado efectos indeseados.

Estos son algunos ejemplos de aplicaciones en que CRISPR ha tenido éxito. Gracias a estos primeros avances, la técnica ha ido convirtiéndose en un modo cada vez más seguro de modificar el genoma. Por esta razón, todos los usos que permiten mejorar el funcionamiento de CRISPR son útiles para su posterior aplicación en los humanos, sea para la solución de enfermedades congénitas o somáticas. Por ello, a ojos de una parte significativa de la comunidad científica, este tipo de investigaciones deben continuar, por los potenciales beneficios que conllevan. Los únicos intentos de aplicación que no han sido considerados claros beneficios han sido los que han implicado el uso de embriones.

En el siguiente apartado explicaremos por qué estos han sido moralmente cuestionados por el conjunto de expertos.

#### LA REGLA MORAL DE LA NO MODIFICACIÓN DE LA LÍNEA GERMINAL

Como mencionamos en el apartado anterior, las aplicaciones de CRISPR de dudosa moral son aquellas que implican el uso de embriones. Tan solo pocos años después de la invención de la técnica, la mera sospecha de que se estuviesen modificando embriones con ella fue lo que empujó a los expertos a establecer normas morales que regulasen este tipo de intervenciones (Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing, 2019). Así, esta demanda vino dada por el inmaduro estado de la técnica, la ausencia de un consenso internacional sobre la legitimidad de editar embriones con fines reproductivos, y por la influencia del trabajo pasado de convenios y tratados intergubernamentales sobre técnicas como la clonación, que en su momento generaron problemas morales similares.

Primeramente, nada más existieron evidencias de que en ciertas partes del mundo CRISPR se estaba usando en embriones—incluso antes al anuncio público de la primera intervención que hemos enumerado—, científicos de las revistas *Nature* (Lanphier *et al.* 2015) y *Science* (Berg *et al.* 2015) apelaron a la prudencia publicando dos peticiones urgentes para una moratoria. La preocupación de los investigadores de estos artículos mostraba las serias dudas que la comunidad científica tenía sobre la moralidad del uso de la edición genética en embriones. Bajo sus consideraciones, la edición de embriones podía desembocar en la edición genética de la línea germinal humana (EGLGH)<sup>3</sup>. Es decir, podían impulsarse modificaciones no estrictamente terapéuticas, sino reproductivas, acarreando consecuencias desconocidas y potencialmente dañinas, especialmente sobre las generaciones futuras. Del mismo modo, advirtieron que la falta de diálogo y aclaración ética sobre la permisibilidad de los experimentos con embriones podía provocar un rechazo de tecnologías como CRISPR por parte del público general.

---

<sup>3</sup> La EGLGH es un concepto que se refiere a la edición de cualquier célula humana, ya sea gametos o células en fase embrionaria, en las que las alteraciones del genoma puedan ser heredadas por los descendientes de dichas células. La modificación de la línea germinal humana cobra una especial relevancia ética, ya que los cambios realizados serán heredados por las generaciones venideras.

Así, el consenso científico abogó por detener las intervenciones en el genoma de los embriones humanos, por el riesgo de que tales organismos fuesen implantados en un útero. Las moratorias trazaron un límite moral inicial que no se debía quebrantar. Se recomendó también prohibir la EGLGH en todos los países del mundo, al menos hasta que existiese un consenso firme acerca de sus implicaciones morales, sociales y ambientales.

El rechazo moral de los fines reproductivos de la EGLGH no vino dado únicamente por las peticiones de moratoria que hemos mencionado. Un grupo de científicos y expertos en ética y derecho de las *National Academies of Science, Engineering and Medicine* organizó en los últimos años dos encuentros internacionales en 2015 (The National Academies of Science, Engineering and Medicine, 2015), y 2019 (The National Academies of Science, Engineering and Medicine, 2019), para la aclaración científica y ética del debate de la edición genética. Este grupo se opuso desde un primer momento a las peticiones de moratoria realizadas por algunos científicos, considerándolas demasiado negativas en cuanto a los beneficios de la edición genética. No obstante, se encontraba de acuerdo con que el uso reproductivo de la EGLGH debía ser prohibido. En ambas cumbres los expertos llegaron a varias conclusiones en común:

- Es deseable continuar con las investigaciones básicas para el desarrollo de las herramientas de edición genética, siempre y cuando, en el caso de que se usen con células germinales o embriones, el fin no sea generar un embarazo reproductivo. Asimismo, debe impulsarse la investigación de la edición genética en células somáticas y los ensayos clínicos, siempre dentro de los márgenes morales y regulativos instaurados en cada país en relación con la terapia génica.
- Dentro del campo de la edición del genoma existe una cuestión de salud pública claramente deseable y cercana a convertirse en realidad. Se trata de la prevención de enfermedades congénitas causadas por las mutaciones de uno o pocos genes. Las investigaciones que se dirigen a este fin deben continuar, dado que es este el beneficio más factible que la edición genética puede conseguir a corto plazo.
- Debe rechazarse la EGLGH y la transmisión de sus alteraciones a la descendencia, hasta el momento en que existan un amplio acuerdo social, seguridad y claros beneficios como para usarla.
- Es necesario conocer la visión de todos los países y opiniones de los ciudadanos, y crear un debate amplio e internacional que procure una regulación universal para

la EGLGH. Las distintas comunidades científicas deben intercambiar ideas y tener en cuenta la opinión pública. También deben operar bajo lo establecido por los Derechos Humanos y los principios de la bioética de la Declaración de Belmont.

Las ideas de estos postulados se defendieron también en un panel de expertos que la Organización Mundial de la Salud creó en 2018 (Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing, 2019) para debatir los desafíos éticos, sociales y legales vinculados a la EGLGH. La conclusión a la que se llegó fue considerar irresponsables las aplicaciones clínicas de la edición genética en la situación actual. La agrupación de expertos reconoció, asimismo, la importancia de saber qué es lo que opina la sociedad. Debemos saber si los ciudadanos opinan que las técnicas de edición genética son seguras, o para qué fines las usarían, sin límite alguno, o tan solo para prevenir enfermedades.

Con todo lo que hemos expuesto podemos concluir que, nada más existieron rumores de que CRISPR se estaba usando en embriones, la comunidad científica realizó un esfuerzo activo por fijar una línea moral sobre lo que se debía y no se debía hacer. Reaccionó con manifiestos y encuentros para el diálogo, probando que las posibilidades de la edición genética son también una ocupación de la ética. La intención de elaborar una línea moral no mostró más que las carencias de una legislación que, incluso a día de hoy, no da cuenta de los nuevos avances tecnocientíficos y las cosas que con ellos se pueden hacer. Los límites trazados por la propia comunidad de expertos representaron lo que una mayoría de la sociedad piensa, y de facto lograron evitar un uso desmesurado, irresponsable e innecesario para el conocimiento de las nuevas técnicas de edición genética.

#### LOS ARGUMENTOS DE SAVULESCU A FAVOR DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO

El consecuencialismo es la corriente filosófica que defiende que los juicios morales deben basarse en las consecuencias esperadas de nuestras acciones. Así, las acciones que debemos perseguir son aquellas que generen consecuencias deseables, es decir, que aporten felicidad o utilidad. Por lo tanto, una acción será considerada buena si sus efectos incrementan el bienestar del individuo o del conjunto de la sociedad. El consecuencialismo trata así de guiar las acciones de los sujetos para aumentar, como último fin, la felicidad en la sociedad. Los pensadores de la corriente consecuencialista

de las éticas aplicadas son los que más han reflexionado acerca de los retos morales que la edición genética plantea. Sin duda, todos los problemas bioéticos relacionados con las biotecnologías han tenido siempre un desarrollo significativo por parte de este enfoque filosófico en las últimas décadas.

El caso de CRISPR constituye otro ejemplo más que se añade a esta labor de reflexión. Gran parte de los autores consecuencialistas conciben positivamente la mejora humana y genética. Entre dichos autores se encuentra Julian Savulescu, probablemente el más prolífico de todos ellos en este tipo de cuestiones. Prácticamente desde la creación de las primeras biotecnologías genéticas, Savulescu ha aportado numerosos argumentos para defender su implementación como modos de mejoramiento humano. Muchas de las ideas del pensador británico se corresponden con la visión del consecuencialismo sobre el uso de CRISPR en general, y sobre las intervenciones en embriones en particular. Nos centraremos en las próximas páginas en las ideas de este autor, con el fin de entender cómo aplica los conceptos de la corriente consecuencialista al problema de la edición genética.

Podemos empezar exponiendo los argumentos de Savulescu a favor del mejoramiento genético humano con su idea más famosa, la *beneficencia procreativa*. Según este concepto, los progenitores de futuros niños tienen la obligación de seleccionar las mejores características para ellos. Se trata de un argumento que combina la obligación moral de intervenir en la genética de nuestros hijos con la obligación moral del mejoramiento humano (Savulescu, 2012: 56-57).

Savulescu planteó por primera vez este argumento en su artículo *Procreative Beneficence: Why We Should Select the Best Children* (Savulescu, 2001). Esta idea nos indica que el fin último del perfeccionamiento es incrementar el bienestar de los individuos. Pueden existir razones para no mejorarnos, pero lo más justo es que el acceso a las mejores sea libre por parte de todos los ciudadanos. Y, ante la situación de que tal posibilidad exista, nuestro deber consiste en favorecerla. Por ello, cualquier tipo de progenitor debe seleccionar, de los distintos niños que pueda tener, aquellos a los que les espere una vida mejor (Savulescu, 2001).

Pero, ¿y si las selecciones que realizásemos dañasen directamente a nuestros hijos? Como respuesta, Savulescu argumenta que debemos asumir que, en algunos casos de selección en donde los riesgos no sean del todo controlables, los niños experimentarán

estados de bienestar reducidos. En muchas ocasiones tendremos que escoger entre varios embriones donde todos presenten condiciones más o menos graves. En tales casos, en los que será imposible generar una vida con bienestar pleno, nuestra obligación es optar por las opciones que menos daño engendren. Por esta razón, si después de la selección un hijo nace con una condición grave o leve, no habremos infringido un daño necesariamente, siempre y cuando hayamos hecho todo lo que podamos para que cuente con el mayor bienestar posible (Savulescu, 2012: 57).

Como podemos ver, la beneficencia procreativa aplicada a genes no patológicos está destinada, en gran medida, a la defensa de una libertad fundamental de los padres para seleccionar las características para sus hijos que ellos consideren beneficiosas. Pero entonces, ¿en qué medida se relaciona este argumento con el tema que nos ocupa? ¿Apoya Savulescu en este mismo sentido la intervención en la línea germinal? ¿Debemos modificar la línea germinal para eliminar enfermedades y conferir a nuestros hijos características deseables?

Justamente, una característica clave de la beneficencia procreativa es que el problema del daño no es atribuible a la selección genética —procedimientos como el Diagnóstico Genético Preimplantacional (DGP) o la fecundación *in vitro* (FIV)—, pero sí a las modificaciones genéticas. Si realizamos una intervención genética para corregir una predisposición a una enfermedad, por ejemplo, y en el futuro esta resulta en una complicación para el individuo más grave que dicha enfermedad, habremos ejercido un daño. Sin nuestra intervención nunca hubiésemos provocado una enfermedad al futuro niño, por lo que habremos dañado directamente.

En cambio, en los procedimientos en que tengamos que escoger entre varios gametos, embriones o fetos, seleccionaremos siempre la mejor opción (Savulescu, 2012: 58). En estos casos, si el niño desarrolla cualquier condición, no se podrá objetar el haber dañado, puesto que activa e intencionadamente habremos buscado su beneficio. La objeción del daño es así atribuible a los procedimientos de manipulación y edición genéticas, pero no a los de selección. Así, Savulescu establece una manera diferente de considerar los dos procedimientos. No es lo mismo que un hijo desarrolle una enfermedad por predisposición después de la selección, a que lo haga habiéndosele aplicado una técnica que resultó fallar (Savulescu, 2012: 58).

Cabe destacar que, aparte de la defensa de la mejora humana, Savulescu ha apoyado también la mejora genética de los cultivos y los animales, incluso previamente al auge de las nuevas técnicas de edición genética (Savulescu, 2003). De esta forma, los argumentos a favor del mejoramiento humano se extienden a los demás seres vivos. Es nuestro deber asegurar los beneficios que la edición genética en estos campos nos puede dar. Como, por ejemplo, una mayor eficiencia en la producción de los alimentos. Se trata de ventajas que aumentarían el bienestar de nuestra sociedad (Savulescu & Skene, 2008).

Por otro lado, Savulescu proporciona más argumentos relacionados con el mejoramiento humano y la edición genética en un artículo de 2019, titulado *An ethical pathway for gene editing* (Savulescu & Singer, 2019). Lo publicó junto con Peter Singer, un importante y famoso filósofo utilitarista. El escrito trató de dar una respuesta al nacimiento de las dos gemelas modificadas en China. Pero, aparte de esta cuestión, los autores también plantean en él argumentos apoyando el mejoramiento.

Singer y Savulescu aclaran que confían plenamente en el potencial de la edición genética para mejorar nuestras capacidades. Para ellos se debe construir un mercado regulado capaz de abarcar futuros mejoramientos importantes. La resistencia a enfermedades o la mejora de capacidades deberían pasar a formar parte del plan de la salud. De este modo, los beneficios de la edición genética se distribuirían de manera igualitaria, y todos los ciudadanos tendrían acceso a ellos.

Bajo estas condiciones, los autores defienden un mejoramiento de la especie por medio de modificaciones genéticas. No obstante, aclaran que, frente al mejoramiento, lo prioritario y a lo que debemos aspirar es a la reducción general del daño en la sociedad. Este fin se conseguirá a través de la erradicación de enfermedades congénitas graves con una esperanza de vida de unos pocos años. Por lo tanto, deberemos aplicar primero las técnicas a estas condiciones, antes que destinarlas a cualquier otro fin (Savulescu & Singer, 2019).

#### EL IMPERATIVO MORAL DE LAS INVESTIGACIONES CON EMBRIONES

Los argumentos generales a favor del mejoramiento que hemos expuesto, aplicados al problema de la EGLGH, se traducen en un imperativo moral para el fomento y la continuación de las investigaciones y ensayos clínicos con las nuevas técnicas de edición

genética. Este imperativo también se extiende al uso de embriones en los experimentos cuando sea necesario.

Para empezar, Savulescu publicó en 2015 un artículo (Savulescu *et al.* 2015) dando su visión sobre la primera edición de embriones en todo el mundo, que había ocurrido pocos meses antes ese mismo año. A pesar de que aquel experimento no generó embarazos reproductivos, provocó una gran agitación en toda la comunidad de expertos. Algo muy importante es que en este trabajo el autor australiano manifestó estar en desacuerdo con las peticiones de moratoria de *Nature* y *Science*. Los científicos de estas revistas no lograron, a su juicio, dar una justificación suficiente para una cancelación de las investigaciones de edición genética con embriones.

En esta importante publicación, Savulescu ya consideró que los investigadores chinos que llevaron a cabo la primera edición genética de embriones no cumplieron con los mínimos morales que deben exigirse en cualquier investigación. Su experimento careció de justificación científica, y no aportó nada al conocimiento con el que se contaba entonces de la edición genética (Savulescu *et al.* 2015). De este modo, el autor ya advirtió en aquel momento que los nacimientos de embriones modificados debían evitarse a toda costa. Correr riesgos innecesarios no estaría bajo ningún concepto justificado por ninguno de los potenciales beneficios.

Sin embargo, que finalmente se diesen tales intervenciones, no significa que debiésemos dejar de investigar la edición genética. Tal cosa sería un error, pues privaríamos a la sociedad del futuro de muchos de los potenciales beneficios ya mencionados. Por lo tanto, el autor sentenció que no veía razón por la que los experimentos con embriones no pudiesen continuar, sin fines reproductivos, y dentro de los marcos de la moral y la legalidad (Savulescu *et al.* 2015).

Por otro lado, un argumento proporcionado por los científicos que propusieron las moratorias, como justificación para la prohibición de la EGLGH, fue el de la pendiente resbaladiza. Según estos expertos, permitir la investigación en la edición genética nos conduciría, inevitablemente, a una situación en que se realizasen modificaciones no terapéuticas en cuanto se tuviese la oportunidad. Savulescu nunca estuvo de acuerdo con este razonamiento. Del hecho de que una tecnología pueda usarse de manera no terapéutica, no se sigue que tal uso vaya extenderse de manera descontrolada. Otras biotecnologías genéticas del pasado también contaron con la posibilidad de elegir

características que no dependían de la salud. Sin embargo, nunca se usaron para tal fin (Savulescu *et al.* 2015). Con la debida regulación y responsabilidad por parte de los expertos, las técnicas pueden aplicarse con los fines que nosotros deseemos, sean o no terapéuticos. Es por ello que Savulescu rechaza la prohibición tajante de las investigaciones en edición genética con embriones.

Así, por todos los motivos que expuso hace ya años, Savulescu defiende en la actualidad continuar con los experimentos de edición genética en embriones inviábiles y en otros campos como forma de ampliar nuestro conocimiento en el ámbito. Y, en caso de que originemos modificaciones en embriones viables, estas deben ser para erradicar enfermedades congénitas de un solo gen. Esta es la única situación en que se justificaría generar un embarazo reproductivo. De este modo, continuar con los estudios en edición genética constituye todo un imperativo moral que la sociedad debe incorporar.

Este imperativo moral de la investigación y el uso de embriones fue también defendido y desarrollado por el mismo Savulescu en el artículo que publicó junto con Peter Singer en 2019 (Savulescu & Singer, 2019). Como mencionamos en el apartado anterior, los autores colaboraron para dar una respuesta y criticar el nacimiento de las dos gemelas en China. Pero aparte de esto, trataron también de construir una vía moralmente aceptable para el desarrollo de la edición genética.

Reflexionando sobre el nacimiento de las gemelas en China, los autores señalan las cuestionables condiciones bajo las que el experimento se realizó. A la pareja escogida se le ofreció, supuestamente, aplicar o no las ediciones genéticas a los embriones que se usasen para el embarazo. Pero no está claro hasta qué punto la pareja estaba informada de que no era necesario editar la línea germinal de sus hijos para protegerlos ante el VIH. Tampoco se sabe si estuvo sometida a presiones para tomar la decisión de editar o no los embriones que se implantarían en el útero de las madres. En definitiva, el procedimiento ignoró por completo el proceso de consentimiento informado que se debe dar a las familias.

Teniendo en cuenta los hechos, los autores consideran que el embarazo reproductivo sucedido en China no fue moral. No porque se tratase de un experimento de edición del genoma, sino porque no alcanzó unos estándares mínimos y exigibles de ética científica. Debemos saber que se editó a las gemelas para hacerlas más resistentes a una enfermedad, ya que era poco probable que la contrajesen. No se les iba a solucionar una enfermedad

ya existente, o que fuese casi seguro que fuesen a desarrollar. Sabiendo esto, la única razón que hubiese justificado, para Savulescu y Singer, una intervención en la línea germinal de las gemelas, es que hubiesen portado alguna enfermedad congénita muy grave o letal, codificada por un solo gen.

Previamente a esta publicación, Savulescu dedicó también un detallado escrito (Savulescu, 2018) dando una respuesta inmediata a este suceso. En un intento por reconducir las investigaciones en la edición genética con embriones, y para evitar que los mismos errores se cometiesen en el futuro, Savulescu dio dos principios básicos que, a su juicio, debía cumplir cualquier ensayo de este tipo para ser moralmente correcto:

- En primer lugar, los riesgos que se corran deben ser razonables. Esto incluye que se minimicen en la medida de lo posible, y que existan beneficios proporcionales a los mismos.
- En segundo lugar, en toda investigación o ensayo clínico con seres humanos es fundamental obtener un consentimiento.

El autor confía en que, bajo estos principios, cualquier uso de la edición genética sea seguro en un futuro. CRISPR debe desarrollarse en ensayos con embriones sin fines reproductivos, con el único objetivo de que se reduzcan las mutaciones no deseadas y se halle un método para conocer si estas han ocurrido o no en el proceso de edición. No obstante, esto no significa que no debemos garantizar la máxima seguridad en las aplicaciones de la técnica (Savulescu, 2018).

Como podemos ver, a este respecto, las consideraciones de Savulescu y Singer coinciden con lo indicado por la comunidad de expertos que se reunió en los dos convenios internacionales de los últimos años: el bien más cercano a convertirse en una realidad que nos puede dar la edición genética es la curación de enfermedades congénitas determinadas por un único gen. Los experimentos en busca de esta aplicación deben continuar, en tanto que muchas vidas y sufrimiento pueden evitarse (Savulescu & Singer, 2019). Por esta razón, una moratoria que prohíba el estudio de la edición genética de embriones no es la mejor solución para asegurar que los experimentos cumplan unos mínimos morales.

## UN NUEVO PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN Y GENERACIONES FUTURAS

El principio de precaución (PP) es un criterio jurídico y conceptual para la regulación de aquellas actividades humanas que podrían acarrear consecuencias dañinas e irreversibles para la salud humana o el medio ambiente. Una de sus funciones consiste en regular y legitimar las decisiones sobre el control de las tecnologías y la gestión de riesgos en situaciones de incertidumbre científica (Ramos Torre, 2002).

En la práctica no existe un consenso general y definitivo sobre el modo en que esta función se debe llevar a cabo. Por el contrario, el PP cuenta con variantes que difieren en sus recomendaciones sobre lo que debemos hacer ante riesgos medioambientales, de la salud y alimentación (Rodríguez López, 2013). En general, estas versiones distintas del principio entran dentro de la clasificación fuerte o débil. Aun así, cuentan con una base común que hace que los identifiquemos como apelaciones distintas a un mismo principio:

- Las versiones débiles recurren a la precaución ante amenazas de daño “serias”, “irreversibles” o “significativas”. Para actuar, debe existir alguna evidencia de ciertos efectos y su gravedad. Se establece así un umbral de incertidumbre científica, de forma que el miedo o la mera posibilidad de un daño por sí solos no serán suficientes para tomar medidas precautorias. Antes bien, la incertidumbre deberá ser suficiente para aplicar el principio.
- La principal diferencia de las versiones fuertes frente a las débiles es que no existen unos mínimos de peligro o incertidumbre para actuar. Las probabilidades de los riesgos tampoco son comúnmente consideradas. Es decir, la mera existencia de incertidumbre o riesgo justifica la toma de medidas y la regulación precautorias ante nuevas tecnologías. Solo la completa seguridad de que no se produzcan daños hará que no sea necesario aplicar el principio.

En relación con el conjunto de dudas acerca de las posibilidades y el futuro de la edición genética que ha surgido recientemente, los autores consecuencialistas se han ocupado también de debatir el papel de este principio. Savulescu tiene una visión particular sobre el PP, su significado y lo que implica en las decisiones políticas. En el pasado sostuvo que la precaución es un concepto mal ubicado (Savulescu, 2012: 274-275). Para el autor, el criterio para aplicar una tecnología dependía de los conocimientos científicos que de ella se dispusiesen, no de la valoración de los potenciales riesgos. Por ello, en caso de tener dudas ante una tecnología nueva, la solución pasaba por investigar

más antes de intervenir. Reemplazaba así la noción de precaución por la información científica.

Savulescu, sin embargo, junto con otros autores, publicó hace pocos años un artículo (Savulescu *et al.* 2019) tratando precisamente la relación entre el PP y la EGLGH. En él da una visión distinta del PP, mucho más amplia y centrada en el problema de las nuevas biotecnologías genéticas. Asimismo, el autor recuerda que la mera existencia de riesgos no conlleva necesariamente que debamos rechazar la modificación de la línea germinal. En ocasiones merece la pena tomar cursos de acción arriesgados si los beneficios potenciales son lo suficientemente valiosos. En el caso de la EGLGH, los beneficios son, para los autores, más que suficientes.

Savulescu responde a los autores que sugieren que el PP debe gobernar el problema moral de la EGLGH, prohibiendo esta práctica. El pensador británico, por el contrario, considera que esta conclusión es demasiado temprana. Hay muchas cuestiones sobre el PP y su aplicación a la EGLGH que aún no se han debatido. No se ha reflexionado, por ejemplo, sobre si la precaución debería referirse a las causas potenciales de la edición de la línea germinal o a los riesgos que también comportaría no llevarla a cabo. Resulta muy difícil dar recomendaciones concretas para la gestión de la edición genética desde el PP. Esto se debe en parte a que no se ha reflexionado lo bastante sobre este concepto y sus variantes en relación con el problema de la EGLGH. En consecuencia, en tanto que no está claro cómo debemos aplicar este principio a este problema, no debemos dar por hecho que sus indicaciones nos harían prohibir la modificación de la línea germinal (Savulescu *et al.* 2019: 2).

Savulescu y sus colegas proponen un PP basado en la teoría del suficientarismo de la justicia distributiva. Si relacionamos esta teoría con el concepto de precaución, el resultado es que deberemos tomar precauciones contra las amenazas en la medida en que nos permitan mantener un nivel suficiente de bienestar para el mayor número de personas posible. Los autores llaman a este principio *sufficientarian precautionary principle* (SPP), “principio de precaución suficientarista” en español). Según el SPP, debemos evitar aquellos cursos de acción que más riesgo tengan de no cumplir con un umbral suficiente de bienestar<sup>4</sup> que establezcamos (Savulescu *et al.* 2019: 8-9).

---

<sup>4</sup> Para que este nuevo principio cumpla su función, los autores sostienen que la idea de precaución aplicada a la EGLGH debe abandonar el requerimiento de la evaluación de los costes comparados con los beneficios.

De esta forma, para los autores, la lógica de este nuevo principio indicaría, satisfactoriamente, por qué el experimento de He Jiankui no fue ético. Los embriones que se usaron tenían muy poca probabilidad de contraer la enfermedad, y con casi total seguridad las futuras gemelas habrían tenido una vida con un nivel suficiente de bienestar. Este mínimo grado de bienestar desapareció por completo cuando se editó su línea germinal, haciendo que corriesen riesgos innecesarios. Siguiendo las indicaciones del SPP, la única razón que hubiese justificado las intervenciones en las gemelas sería, como indicaron Singer y Savulescu, que fuesen a desarrollar una enfermedad congénita, letal o muy grave, que les hubiese determinado a vivir pocos años (Savulescu *et al.* 2019: 10-11). En este caso, aplicar la edición genética sí hubiese sido necesario para cumplir con el nivel mínimo de bienestar que el SPP demanda.

Por otro lado, el problema de la valoración de los potenciales riesgos de la EGLGH se encuentra estrechamente relacionado con el problema de las generaciones futuras y la irreversibilidad de las modificaciones. Una de las críticas más frecuentemente lanzadas a las intervenciones genéticas, sean o no terapéuticas, es que provocarán efectos imprevisibles sobre las generaciones venideras. Los cambios inducidos por la línea germinal humana se podrían transmitir a la descendencia sin que futuros portadores nos hayan dado su consentimiento. Ante esta objeción, Savulescu sostiene que en ningún caso podemos respetar la autonomía de los futuros niños, pues carecen de esta capacidad por el simple hecho de no existir. Tanto si heredan las modificaciones como si no, nunca mantendremos intacta su supuesta autonomía. Y, en el futuro, puede haber niños que concuerden con el imperativo del mejoramiento y acepten las acciones de sus padres. Además de esto, las intervenciones ambientales pueden ser igualmente irreversibles que las genéticas. La manera en que cuidamos y educamos a nuestros hijos también puede causar cambios biológicos que sean irreversibles e incluso se transmitan a las siguientes generaciones. Si consideramos moralmente correcto incrementar el bienestar de las personas por medio de factores ambientales, como la educación y la dieta, debemos

---

El cálculo del coste-beneficio forma parte de algunas versiones del PP. Sin embargo, el ejemplo de la edición genética nos muestra que no siempre podemos conocer cuáles son las amenazas reales de ciertas actividades. Por ello, el SPP debe reemplazar el cálculo de los costes y beneficios por algún otro principio relacionado con la precaución. Esto permitiría evaluar de una manera especial los nuevos tipos de riesgos que la edición genética plantea, tanto en los casos en que valorar dichos riesgos sea posible como en los que no.

considerar de igual manera los medios genéticos directos que tienen el mismo fin (Savulescu, 2012: 272-273).

En el caso de la EGLGH, nunca tendremos la certeza plena de que los cambios en la línea germinal se transmitirán intactos a la descendencia. El hecho de heredar dichos cambios solo supondrá un problema si no se trata de claras mejoras. Idealmente siempre introduciremos en los individuos características que consideremos objetivamente deseables. De este modo, si las mejoras resultan favorables para una vida buena, no se puede asumir que vayan a ser rechazadas por las generaciones futuras. Los individuos del futuro, al igual que podrían reprocharnos el haber sido mejorados, podrían también reprocharnos lo contrario. Incluso podrían encontrarse en una situación de injusticia por no contar con mejoras, y por ende querer contar con ellas (Savulescu, 2012: 271). En este sentido, no podemos afirmar que la aplicación de la EGLGH conlleve necesariamente peligros a las generaciones futuras. No continuar por la vía de las técnicas genéticas podría acarrear las mismas malas consecuencias que se atribuyen a la aplicación de las mismas. Impedir el desarrollo de la EGLGH para buenos propósitos, como la curación de enfermedades congénitas, supone también una amenaza indirecta para las futuras generaciones (Savulescu *et al.* 2019: 11).

## CONCLUSIÓN

Con todo lo que hemos expuesto sobre el problema de la edición genética en los apartados anteriores, podemos extraer varias conclusiones. En primer lugar, es de inmediato necesario crear un debate internacional, interdisciplinar y con un enfoque holístico de la aplicación de CRISPR como forma de EGLGH y en animales y cultivos. Las biotecnologías están avanzando de una forma mucho más rápida que las leyes que deberían controlarlas (Schleissing *et al.* 2018: 9). En este sentido, para que una legislación adecuada y actualizada se imponga, la ética aplicada debe conciliar las disciplinas tanto empíricas como humanísticas que se encuentran en juego en este problema. Esta tarea solo podrá cumplirse a través de un proceso deliberativo en el que se tenga en cuenta tanto el conocimiento de los expertos como la opinión de la ciudadanía. La sociedad debe, en función de sus consideraciones morales, decidir cuáles son las aplicaciones de esta técnica que quiere incorporar.

En segundo lugar, en los campos de la ética aplicada y la bioética, el consecuencialismo es la corriente que más ha reflexionado sobre el problema de la aplicación de la edición genética. De hecho, la mayor parte de la reflexión filosófica general sobre las nuevas técnicas ha venido dada por los autores de esta tradición. Destaca entre ellos Julian Savulescu, quien defiende que existe un imperativo moral para la continuación de las investigaciones en edición genética. Los beneficios que este campo promete son más que suficientes para continuar llevando a cabo más y más estudios. En consecuencia, no estaría bien privar a la sociedad de los potenciales beneficios de estas técnicas. En tal caso, seríamos responsables también, en un futuro, de aquellas muertes y dolor provocados por la falta de desarrollo de las tecnologías de la edición genética. De este modo, los estudios que más prioridad tienen son aquellos con embriones inviiables, que nos pueden descubrir la manera de curar enfermedades congénitas directamente desde la línea germinal. El mejoramiento de las capacidades es deseable y debería serlo para toda la sociedad. Sin embargo, lo prioritario es por ahora que las técnicas de edición genética sean más eficientes y seguras, y se conviertan cuanto antes en métodos de curación de enfermedades congénitas letales o graves en los niños. Mientras tanto, debemos crear un espacio de debate para que la sociedad decida si quiere o no recurrir al mejoramiento.

En tercer lugar, el principio de precaución no ha sido debidamente considerado en el debate sobre la edición genética. Esto no debería ser así, dado que las situaciones de las que se ocupa son en esencia idénticas a lo que está ocurriendo con la aplicación de técnicas como CRISPR. La única propuesta concreta de PP para la edición genética la ha proporcionado el consecuencialismo. Junto con otros autores, Julian Savulescu propone un principio que solo nos permite aplicar CRISPR cuando esto no signifique reducir el grado mínimo de bienestar de alguna de las partes de la sociedad. Este principio tiene en cuenta el bienestar de las generaciones futuras. La edición genética puede aportar grandes beneficios tanto a la sociedad actual como a la del futuro. Si los cambios que implementemos resultan beneficiosos para los ciudadanos, también lo serán para aquellos que estén por venir. Por esta razón, ante la objeción de las consecuencias imprevisibles sobre las futuras generaciones, los imperativos de investigación y de mejoramiento de la especie prevalecen.

BIBLIOGRAFÍA

- Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing, (2019). *Report of the first meeting*, <https://www.who.int/ethics/topics/human-genomeediting/GenomeEditing-FirstMeetingReport-FINAL.pdf?ua=1>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- Berg, P. et al. (2015). “A prudent path forward for genomic engineering and germline gene modification”, *Science*, vol. 348, n. 6230, p. 38.
- Callaway, E. (8 de abril de 2016). “Second Chinese team reports gene editing in human embryos”, *Nature News*, <https://www.nature.com/news/second-chinese-team-reports-gene-editing-in-human-embryos-1.19718>. [Última consulta: 25 de enero de 2021]
- Charpentier, E., Doudna, J. A. et al. (2012). “A programable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity”, *Science*, vol. 337, n. 6069, pp. 816-821, Doi: 10.1126/science.1225829.
- Charpentier, E., Doudna, J. A. et al. (2012). “A programable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity”, *Science*, vol. 337, n. 6069, pp. 816-821, Doi: 10.1126/science.1225829.
- Cohen, J. (4 de marzo de 2019). “Corn and other important crops can now be gene edited by pollen carrying CRISPR”, *Science*, <https://www.sciencemag.org/news/2019/03/corn-and-other-important-crops-can-now-be-gene-edited-pollen-carrying-crispr>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- Cyranoski, D. & Reardon, S. (22 de abril de 2015). “Chinese scientists genetically modify human embryos”, *Nature News*, <https://www.nature.com/news/chinese-scientists-genetically-modify-human-embryos-1.17378>. [Última consulta: 25 de enero 2021].
- Domínguez, N. (23 de junio de 2016). “El ‘cortapega’ genético llega a los humanos”, *El País*, [https://elpais.com/elpais/2016/06/22/ciencia/1466609365\\_058334.html](https://elpais.com/elpais/2016/06/22/ciencia/1466609365_058334.html). [Última consulta: 25 de enero de 2021].

- Domínguez, N. (25 de julio de 2018). “La justicia europea pone trabas a la edición genética en plantas”, El País, [https://elpais.com/elpais/2018/07/25/ciencia/1532534799\\_094982.html](https://elpais.com/elpais/2018/07/25/ciencia/1532534799_094982.html). [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- Gyngell, C. & Munsie, M. (2018). “Ethical issues in genetic modification and why application matters”, ScienceDirect, Current Opinion in Genetics & Development, vol. 52, pp. 7- 12, Doi: 10.1016/j.gde.2018.05.002.
- Huang, J. (2015). “CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human tripronuclear zygotes”, Cell&Protein, vol. 6, n. 5, pp. 363-372.
- Lanphier, E. et al. (2015). “Don’t edit the human germ line”, Nature, vol. 519, pp. 410-411, Doi: 10.1038/519410a.
- Ledford, H. (2015), “Bacteria yield new gene cutter”, Nature, vol. 526, p. 17, Doi: 10.1038/nature.2015.18432.
- Ledford, H. (2 de agosto de 2017). “CRISPR fixes disease gene in viable human embryos”, Nature News, <https://www.nature.com/news/crispr-fixes-disease-gene-in-viable-human-embryos-1.22382>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- Martín, B. (24 de septiembre de 2018). “La edición genética elimina una población de mosquitos transmisora de malaria”, El País, [https://elpais.com/elpais/2018/09/21/ciencia/1537540615\\_787739.html](https://elpais.com/elpais/2018/09/21/ciencia/1537540615_787739.html). [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- Montoliu, L. (2019). Editando genes: recorta, pega y colorea, Next Door Publishers Pamplona.
- Ramos torre, R. (2002). “El retorno de Casandra: modernización ecológica, precaución e incertidumbre”, en García Blanco, J. M. & Navarro Sustaeta, P. (2002). *¿Más allá de la modernidad?: las dimensiones de la información, la comunicación y sus nuevas tecnologías*, 2002, pp. 403-456, Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS) Madrid.
- Reardon, S. (2016). “The CRISPR Zoo”, Nature, vol. 531, pp. 160-163, Doi: 10.1038/531160.

- Rodríguez López, B. (2013). “¿Cuánta ignorancia? El Principio de Precaución y la falta de certeza absoluta”, Universidad Complutense de Madrid, BIBLID.
- Santirso, J. (30 de diciembre de 2019). “Condenado a tres años de cárcel el científico chino que creó los primeros bebés modificados genéticamente”, El País, [https://elpais.com/elpais/2019/12/30/ciencia/1577710962\\_002091.html](https://elpais.com/elpais/2019/12/30/ciencia/1577710962_002091.html). [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- Savulescu, J. (2001). “Procreative Beneficence: Why We Should Select The Best Children”, *Bioethics*, vol. 15, n.5/6, pp. 413-426, Doi: 10.1111/1467-8519.00251.
- Savulescu, J. (2003). “Human-animal transgenesis and chimeras might be an expression of our humanity”. *AM J Bioethics*, vol. 3, n. 3, pp. 22-25, Doi: 10.1162/15265160360706462.
- Savulescu, J. (2012). “Beneficencia procreativa: por qué debemos seleccionar los mejores niños”, *¿Decisiones peligrosas? Una bioética desafiante*, Editorial Tecnos Madrid, pp. 43-64.
- Savulescu, J. (2012). “Mejora genética”, *¿Decisiones peligrosas? Una bioética desafiante*, Editorial Tecnos Madrid, pp. 251-291.
- Savulescu, J. (2018). “The Fundamental Ethical Flaw in Juankui He’s Alleged Gene Editing Experiment”, *Practical Ethics: Ethics in the News*, <http://blog.practicaethics.ox.ac.uk/2018/11/the-fundamental-ethical-flaw-in-juankui-hes-alleged-gene-editing-experiment/>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- Savulescu, J. (3 de junio de 2019). “The moral obligation to develop gene editing to enhance humanity”. [Sesión de conferencia]. En F. Lara. *Third International Workshop on Ethics and Human Enhancement. BIOethAI+* Universidad de Granada, Granada, España.
- Savulescu, J., Gyngell, C. & Koplein, J. J. (2019). “Germline gene editing and the precautionary principle”, *Bioethics*, pp. 1-11, Doi: 10.1111/bioe.12609.

- Savulescu, J., Pugh, J., Douglas, T. & Gyngell, C. (2015). “The moral imperative to continue gene editing research on human embryos”, *Protein Cell*, vol. 6, n. 7, pp. 476-479, Doi: 10.1007/s13238-015-0184-y.
- Savulescu, J. & Singer, P. (2019). “An ethical pathway for gene editing”, *Bioethics*, vol. 33, n. 2, pp. 221-222, Doi: 10.1111/bioe12570.
- Savulescu, J. & Skene, L. (2008). “The Kingdom of Genes: Why Genes from Plants Will Make Better Humans”, *The American Journal of Bioethics*, vol. 8, n. 12, pp. 35-38, Doi: 10.1080/15265160802559203.
- Schleissing, S., Pfeilmeier, S. & Dürnberger, C. (2018). “Genome Editing in Agriculture: Between Precaution and Responsibility. An Introduction”, *Genome Editing in Agriculture: Between Precaution and Responsibility*, pp. 9-21, Nomos Verlagsgesellschaft Baden-Baden.
- Taylor, P. A. (1 de febrero de 2019). “Companies Use CRISPR to Improve Crops”, *The Scientist*, <https://www.the-scientist.com/bio-business/companies-use-crispr-to-improve-crops-65362>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- The Hinxton Group, an International Consortium on Stem Cells, Ethics and Law. (2015). *Statement on Genome Editing Technologies and Human Germline Genetic Modification*, <https://cdn.labmanager.com/assets/articleNo/11330/doc/26555/dec8eec7-f5a4-4935-acbf-9098ebf03ebb-hinxton2015-statement.pdf>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- The National Academies of Science, Engineering and Medicine. (2015). *On Human Gene Editing: International Summit Statement*, <https://www.nationalacademies.org/news/2015/12/on-human-gene-editinginternational-summit-statement>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].
- The National Academies of Science, Engineering and Medicine. (2018). *Statement by the Organizing Committee of the Second International Summit on Human Genome Editing*, <https://www.nationalacademies.org/news/2018/11/statement-by-the-organizing-committee-of-the-secondinternational-summit-on-human-genome-editing>. [Última consulta: 25 de enero de 2021].