

LOS LÍMITES ÉTICOS DE LA INNOVACIÓN: LA SEGURIDAD ALIMENTARIA COMO CASO DE ESTUDIO

José Pío Beltrán, Profesor de investigación en el Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (UPV-CSIC).

*“El cambio es la única cosa inmutable:
el cambio es adaptación y crecimiento”*
Arthur Schopenhauer

Introducción: estableciendo los límites.

Las innovaciones tienen como finalidad crear valor mediante la aplicación de conocimientos. La investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación son factores esenciales para el progreso y el crecimiento económico sostenible. A veces, aunque no siempre, las innovaciones derivan de procesos que conducen desde un descubrimiento a algún desarrollo tecnológico o a una innovación en sentido estricto. **Desde el punto de vista de la ética, el tratamiento que debemos dar tanto a la práctica científica como a las innovaciones es similar.** La integridad científica debe garantizar una buena praxis en investigación e innovación.

No obstante, tenemos la necesidad de acogernos a un marco de referencia de lo que denominamos Ética como materia de estudio que, en nuestro acervo cultural, entendemos como la *disciplina filosófica que estudia el bien y el mal y sus relaciones con la moral y el comportamiento humano*. La *Ética laica* o *Ética* secular, es una concepción de la filosofía moral en la que la *ética* se basa únicamente en facultades humanas como la lógica, la empatía, la razón o la intuición moral. En cualquier caso, no se deberían observar discrepancias con la ética cristiana (marco de referencia europeo, con sus diferencias en la moral practicada entre católicos y protestantes respecto de la riqueza, el perdón de los pecados o la educación) que propone que el bien o el buen obrar está presente de modo intrínseco en las personas que fueron hechas a imagen y semejanza de Dios.

Debemos decidir qué está bien y qué está mal, por qué hacemos las cosas (por qué innovamos) o si los recursos y los procedimientos que utilizamos son adecuados a la luz de la Ética (Jonas, 2014).

El nuevo conocimiento y las innovaciones se fundamentan en el empirismo y en el razonamiento lógico. Mantener una conducta responsable en investigación e innovación, independientemente de que esta se desarrolle en un ámbito público o privado, requiere un comportamiento íntegro y supone una praxis que se fundamenta en un conjunto de valores como: **honestidad, transparencia, profesionalidad, responsabilidad, objetividad, imparcialidad, independencia, fiabilidad, diligencia, respeto y reconocimiento de la labor de los otros**, tal y como

establece el Código de Buenas Prácticas Científicas del CSIC (<https://www.csic.es/es/el-csic/etica>, versión revisada en marzo de 2021). El fomento y establecimiento de una cultura de integridad atañe tanto al conjunto de la comunidad científica como a las instituciones donde se investiga y se innova, y, en general, a toda la Sociedad.

La ética debe cuestionar nuestros **objetivos**, así como los **medios y métodos utilizados** en los procesos innovadores y, por último, debe examinar que los **resultados de las innovaciones** sean veraces, y responsables socialmente y respeten los principios de no maleficencia y beneficencia.

La Declaración Nacional sobre Integridad Científica.

Cuando hablamos de los límites éticos de la innovación se hace necesario reflexionar sobre la **Integridad Científica**, piedra angular del tránsito desde el conocimiento a las innovaciones que garantizan el progreso económico y social. Así lo entienden la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE), la Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE) y la agencia estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que firmaron la Declaración Nacional sobre Integridad Científica (documento que se puede consultar en www.comillas.edu/Documentos/Declaracion_Nacional_Integridad_Cientifica.pdf y que contiene diversos enlaces a los enfoques al respecto del *Singapore Statement on Research Integrity [2011]*; el *Montreal Statement on Research Integrity in Cross Boundary Research Collaborations [2013]* *European Commission*; la *European Science Foundation /All European Academies*; la *OECD* y el *Global Research Council*). La Integridad Científica ha sido objeto de reflexión profunda por Science Europe (Hyney, 2015).

Dicha declaración recoge una serie de principios éticos y responsabilidades profesionales relativas a la actividad investigadora. Como ya hemos comentado, dichos principios se refieren a **los objetivos**, estableciendo que el conocimiento debe contribuir al beneficio de la humanidad, respetando la dignidad del ser humano y su autonomía, protegiendo los datos de carácter personal, garantizando el bienestar de los animales y preservando el medio ambiente. También examinan que los **métodos y procedimientos** son los adecuados a los objetivos; y las conclusiones alcanzadas deberán superar un análisis crítico de los resultados, de forma que se alcance un conocimiento objetivo que pueda asumirse como cierto. Los datos y resultados de la investigación hay que registrarlos con precisión, exactitud y claridad, con vistas a su reproducción por parte de otros. Los principios éticos deben regir también **la difusión de los resultados** (abierta, transparente y honesta) sin más limitaciones que las derivadas del ordenamiento jurídico o de los derechos de propiedad, siendo estos aspectos de especial relevancia para las innovaciones.

Los investigadores deben responsabilizarse del contenido de todos sus estudios, informes, dictámenes o publicaciones, así como del reconocimiento justo de todas las contribuciones a los mismos, incluidas las entidades financiadoras.

Respecto de la transferencia del conocimiento, las instituciones firmantes instan a que los investigadores asuman las políticas de propiedad industrial e intelectual propias de estas entidades. Las instituciones firmantes se comprometen a la inclusión de los principios de la integridad

científica en sus programas de formación y a establecer órganos competentes y procedimientos de gestión de la mala praxis científica.

La investigación y las innovaciones derivadas de estudios con seres humanos o con animales.

Estudios con humanos.

Especial atención merecen los límites éticos de aquellos estudios e innovaciones que requieren la participación de seres humanos o el manejo de sus muestras y sus datos que están recogidos en el ordenamiento jurídico y normativas vigentes. Se trata tanto de las **actividades que incluyen intervenciones u observaciones en seres humanos** relativas al ámbito de la **biomedicina y otras ciencias de la vida** como de las que demandan su participación, como las encuestas y entrevistas en el campo de las **ciencias sociales** o los experimentos sobre **interacción persona-máquina en robótica**, inteligencia artificial y otras **tecnologías digitales**, cobrando especial relevancia los estudios que **se refieran a personas con discapacidad o diversidad funcional**. Todas estas actividades necesitan ser evaluadas *ex ante* por el correspondiente Comité de Ética y, en su caso, por los comités hospitalarios de ensayos clínicos, teniendo las personas participantes que haber prestado su consentimiento, libre y voluntario a dicha participación tras haber sido informadas de todos los aspectos que sean pertinentes para su decisión de participar. Dicho consentimiento deberá expresar la aceptación del sujeto, también en los casos que impliquen la toma de muestras, y deberá ser inequívoco, específico e informado cuando los datos a almacenar y/o tratar sean de carácter personal, aplicándoseles el régimen legítimo de almacenamiento o conservación en un banco de muestras autorizado. La posterior utilización de las muestras requerirá el consentimiento previo y expreso del sujeto fuente.

Estudios con animales.

La experimentación que requiera la utilización de animales está contemplada y estrictamente regulada en nuestro ordenamiento jurídico, que establece los límites éticos de la misma. Se favorecerá el uso de métodos alternativos a la experimentación con seres vivos, y como criterio general, se adoptará el denominado **principio de las tres erres (R)** que consiste en el **reemplazo** de los animales por otras opciones que no impliquen su utilización; la **reducción** del número de animales mediante el uso de métodos estadísticos que permitan obtener resultados sólidos con el número mínimo de individuos y el **refinamiento** de las actuaciones sobre los animales que permita evitar o minimizar el dolor, el sufrimiento, la angustia o el daño que se les pueda infligir, así como la alteración de su bienestar. Un buen ejemplo de reemplazo de animales de experimentación ha sido el realizado por la empresa innovadora valenciana **Biopolis, S.L.**, que comenzó a trabajar con probióticos buscando dianas funcionales en relación con la salud de la piel, la salud metabólica o la infertilidad. (www.biopolis-microbiome.com/) mediante el **desarrollo de una plataforma automatizada con el nematodo *Caenorhabditis elegans***, un modelo que aúna la rigurosidad científica con la rapidez y la ética en la investigación animal, ya que, al

tratarse de un animal sencillo y sin cerebro, no hay sufrimiento, a la hora de ensayar biológicamente, como primera aproximación, estrés oxidativo, la obesidad o enfermedades como el Alzheimer. Según los datos del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación el número de animales utilizados en experimentación y en docencia en el año 2020 ha disminuido en un 46 % respecto de los utilizados en 2009 (Comisión COSCE, 2021). Como en el caso de los estudios con humanos, es necesaria una evaluación *ex ante* de **los proyectos o procedimientos de experimentación con animales**, que deberán en este caso **ser informados** por un órgano encargado de bienestar animal, **ser evaluados** por un órgano habilitado para ello y **ser autorizados** por un órgano competente, como establece la normativa vigente en la materia.

Seguridad, Salud y Protección del Medio Ambiente.

Las actividades de investigación, desarrollo e innovación deben garantizar la seguridad y la salud del personal involucrado y, en general, de todos los miembros de la sociedad. Para ello dichas actividades se deben someter a las normativas sobre la prevención de riesgos laborales, vigilancia de la salud y protección del medio ambiente.

Mención especial, en el contexto de este trabajo, merecen las investigaciones e innovaciones que comportan la utilización confinada, la liberación o comercialización de organismos modificados genéticamente, la utilización de agentes biológicos de riesgo para seres humanos, animales, plantas y el medio ambiente, así como el manejo de material que pueda contenerlos. En todos estos casos es necesario utilizar las medidas de contención exigidas en las normativas vigentes aplicables y las instalaciones adecuadas y debidamente autorizadas. Como en los casos de la experimentación con humanos o con animales, estas actividades deben ser aprobadas por los correspondientes Comités de Ética.

El Sistema de Innovación (SI) y los límites éticos.

Hemos repasado, someramente, los aspectos éticos que marcan los límites de la investigación científica y de la innovación. Dado que la innovación crea valor a partir del conocimiento para individuos, organizaciones, empresas y la sociedad, en general, cabe preguntarse sobre quién descansa la responsabilidad de decidir o de impulsar innovaciones concretas.

Las innovaciones suceden en el seno de los sistemas de innovación. En nuestro marco socio-económico tendríamos que hablar de un gran sistema correspondiente a la Comisión Europea. También podemos fijarnos en el sistema español o, de acuerdo con los objetivos del Círculo de Estudios sobre Innovación, en el sistema valenciano. Todos ellos son interdependientes y actúan de forma jerarquizada. El sistema de innovación se compone de un **entorno científico**, un **entorno tecnológico**, un **entorno financiero** y un **entorno productivo**, así como de **tres tipos de estructura de interfaz** (productivo-tecnológico; científico, financiero). El sistema está inmerso en un **marco político e institucional** que le proporciona seguridad jurídica y estabilidad y que decide las políticas públicas de apoyo a la I+D+i (García Reche, 2020).

Aunque se podrían considerar de forma separada el impulso político e institucional a la actividad científica y el impulso a la innovación, hay que recordar que, para que se produzcan las innovaciones en los sectores productivos, es condición *sine qua non*, aunque no suficiente, la atracción y el mantenimiento de **talento**; y que, en un sistema de innovación como el valenciano, estas cuestiones dependen, en gran medida, de las acciones y políticas de I+D+i del gobierno valenciano y de las instituciones académicas valencianas. También hay que recordar que existen **límites éticos** a dichas acciones y políticas. Más adelante, en el programa de debates del **Círculo de Estudios sobre Innovación** se analizarán en detalle sus características; sin embargo, quiero dejar constancia de algunas cuestiones referidas tanto al pasado como al futuro de dicho sistema que, en mi opinión, merecen reflexión:

- Sólo recientemente, con la creación de la Agencia Valenciana de la Innovación (AVI) dependiente de la Presidencia de la Generalitat se ha modificado, desde el punto de vista político, la fragmentación en departamentos diferentes de las políticas de innovación y las de investigación. **¡Por primera vez se sientan a dialogar y a trabajar conjuntamente académicos, tecnólogos y empresarios!** Esa forma de trabajar es innovadora y recordemos que una de las dificultades de la innovación (que supone cambios) son las personas e instituciones que anteponen la preservación de su *statu quo* a la adaptación al cambio innovador.
- Las políticas de investigación e innovación las deciden los políticos, pero las deberían ejecutar los técnicos. No parece que el SI valenciano haya tenido éxito en la atracción y mantenimiento del Talento. La elección de los **responsables y de los protocolos y criterios de atracción de talento** de organismos como la Agencia de Evaluación y Prospectiva o de la recientemente creada Fundación ValER, conocida en el argot del sector científico como el “ICREA Valenciano” (www.icrea.cat/), debería ajustarse a la cualificación profesional, evitando criterios de proximidad política.
- Se deberían examinar las razones por las que, a pesar de las numerosas estructuras de interfaz públicas entre ciencia y tecnología y sectores productivos, estas resultan tan inoperantes para trasladar el conocimiento en innovaciones y, especialmente, qué frenos hay a la innovación de dichas estructuras de interfaz.
- Una enfermedad crónica que padece el sistema de innovación valenciano es la **incapacidad para ejecutar por encima de una tercera parte los fondos que se le asignan por la Unión Europea**. Es éticamente cuestionable preocuparse sólo de los programas específicos, como, por ejemplo, provenientes de los fondos de recuperación de la pandemia ocasionada por la COVID-19, sin que los gestores políticos implementen medidas que permitan ejecutar dichos fondos en su totalidad.

En el contexto europeo, las líneas generales que marcan en qué se investiga y se innova son las recogidas en el Programa Marco Horizonte Europa 2021-2027, que se está financiando con 95.517 millones de euros y que se compone de tres pilares: Ciencia excelente (fundamentalmente a través del European Research Council, ERC); Desafíos Globales y Competitividad Industrial Europea y Europa Innovadora (fundamentalmente a través del Consejo Europeo de Innovación, EIC). En dicho programa se da importancia a la denominada “**citizen science**” o

ciencia ciudadana con el fin de involucrar a los individuos en la cultura científica y en la innovación (véase los epígrafes: “*Widening Participation and Strengthening the European Research Area*” y “*Reforming and enhancing the European R&I system*”).

En el anterior Programa Marco Horizonte 2020 (2014-2020) la Comisión Europea ya publicó un artículo referente al compromiso público sobre la investigación e innovación responsables (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/public-engagement-responsible-research-and-innovation>) en el que se recogían ideas tractoras **para crear el futuro con el público general y con las organizaciones de la sociedad civil** y, de manera especial, con la diversidad de personas que normalmente no interactúan en cuestiones de ciencia y tecnología. Se trataría de generar foros para deliberar sobre estas cuestiones entre investigadores, formuladores de políticas, organizaciones de la industria y sociedad civil, ONG y ciudadanos.

La Comisión Europea promueve la “**Responsible Research and Innovation**” (RRI), que supone un enfoque inclusivo de la investigación y de la innovación que garantice el trabajo común de los agentes sociales con el fin de alinear los objetivos de la I+D con los valores, necesidades y expectativas de la sociedad europea. La RRI implica anticipar y evaluar las posibles implicaciones y expectativas de la sociedad con respecto a la investigación y la innovación involucrando a la comunidad de manera más amplia en las actividades de I+D (véase también ciencia ciudadana), posibilitando en mayor medida el acceso a los resultados científicos para promover la educación científica, formal e informal, e impulsando la dimensión ética. Este enfoque debería de favorecer las ocasiones en que las innovaciones sean más relevantes y deseables para la colectividad, lo que, a su vez, podría lograr tiempos de comercialización más cortos y una mayor aceptación de los resultados de la investigación y la innovación.

El desafío global de la producción de alimentos: los límites éticos.

Los límites éticos a las innovaciones en la producción de alimentos son transversales y se deben de establecer tanto en la praxis de investigadores y organizaciones académicas, sociedades de obtención de semillas y materias primas, empresas de producción y distribución de alimentos y responsables de políticas y legisladores. Por tanto, hablar de límites éticos es un asunto transversal y con muy diversos focos de atención.

Las soluciones al problema que plantea el desafío de conseguir la seguridad alimentaria de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) parecen lejanas. Hoy en día nos acercamos a los 8.000 millones de personas y los demógrafos nos advierten que superaremos los 9.000 millones a mitad del siglo XXI y los 10.000 millones para el año 2100. **Todas las personas deberían tener acceso físico y económico a suficientes alimentos nutritivos y seguros para llevar una vida activa y saludable.** La primera cuestión que nos planteamos tiene que ver con nuestros objetivos: **¿Es ético que unos 700 millones de personas pasen hambre o estén malnutridas en el año 2020?** En el “haber” de las ciencias agrónómicas está el de dar soporte a la producción de alimentos para más de 7.000 millones de personas y en el “debe” está la gran huella ecológica de los sistemas de producción. **¿Es ético dar**

de comer a tantos dañando severamente el medio ambiente? Parece que necesitaríamos innovar. Un asunto que llama la atención desde la perspectiva ética es el de los desperdicios alimentarios que alcanzan hasta un treinta por ciento (30 %) de los alimentos que llegan a nuestras casas de acuerdo con datos de la FAO. **¿Sobrepasan los ciudadanos los límites éticos al permitir ese despilfarro? ¿No haría falta innovación en las empresas de producción y distribución de alimentos para ayudar a evitar los desperdicios alimentarios?** Además, deberíamos producir los alimentos de manera **sostenible**. La comunicación “*Estrategia De la Granja a la Mesa*” para un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medio ambiente de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, de mayo de 2020, y el “*European Green Deal*”, recogido en el “*Horizon Europe Research and Innovation programme (2021-2027)*”, establece la prioridad de alcanzar una producción de alimentos sostenible. Entre otros objetivos se propone para el año 2030 una disminución del uso de pesticidas del cincuenta por ciento (50 %); de fertilizantes del veinte por ciento (20 %); utilizar la mitad de los antibióticos que se usan hoy en ganadería y dedicar un veinticinco por ciento (25 %) de la superficie total agrícola de la Unión Europea a Agricultura Ecológica. **Esos objetivos aparecen como difíciles de alcanzar, necesitaríamos muchas innovaciones.** De hecho, la FAO nos advierte de que con las tecnologías de hoy deberíamos aumentar para el año 2050 la producción de alimentos, el consumo de energía y el uso de agua en agricultura un sesenta por ciento (60 %), cincuenta por ciento (50 %) y un cuarenta por ciento (40 %) respectivamente. Nos preguntamos **¿Será posible, sostenible y ético?**

El cultivo de las plantas constituye la base de la alimentación. Es necesario **disponer de las semillas adecuadas**. También deberíamos incorporar a la práctica agronómica nuevas tecnologías que se apoyen en la transformación digital, la gestión y el manejo del agua y las técnicas de cultivo sostenible.

Las plantas que cultivamos son el resultado de un proceso de domesticación o mejora. Seleccionamos las semillas que desarrollarán plantas con las propiedades más útiles. **La mejora genética tradicional** se basa en dos herramientas fundamentales: la mutagénesis y el cruce sexual. Las técnicas de mutagénesis utilizan compuestos químicos o radiaciones que, al modificar al azar el ADN de las semillas, nos permiten seleccionar nuevas propiedades de interés. Gracias a estos cambios, aumentamos la biodiversidad disponible para llevar a cabo los cruces sexuales o hibridaciones que, de nuevo, mezclan al azar los caracteres (genes) de los dos parentales que hibridamos. **La mejora tradicional, que nos permite producir alimentos para 7.000 millones de personas**, se basa, por lo tanto, en técnicas que producen e incorporan cambios genéticos al azar mediante procesos laboriosos. El tiempo necesario para conseguir una variedad nueva de interés suele durar, al menos, una década.

La Ingeniería Genética y la Biotecnología nos han permitido prescindir de la barrera del cruce sexual para incorporar a los cultivos los genes responsables de los caracteres deseados. A través de las nuevas técnicas de secuenciación genética masiva podemos disponer de los genomas de todas las plantas. Identificamos y aislamos en el laboratorio los genes responsables de los caracteres de interés y los introducimos en las plantas mediante técnicas de transformación; uno a uno o varios a la vez, en variedades de élite ya seleccionadas, de forma que es posible

añadirles propiedades nuevas. No obstante, las tecnologías de introducción de genes mediante ingeniería genética conducen a la incorporación de los genes en lugares del genoma que no se pueden predecir. A pesar de ello, la Ingeniería Genética nos ha permitido aumentar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos mitigando problemas ambientales asociados a la agricultura industrializada, como el uso de combustibles fósiles, la pérdida de suelo por erosión o la contaminación de suelos y aguas por el uso de productos fitosanitarios (Brookes, 2019). Así, en las últimas dos décadas, la superficie acumulada de cultivos transgénicos de primera generación ha sido superior a 1.500 millones de hectáreas, lo que es equivalente a una superficie treinta veces la de España. En el año 2018, el 80 % de la producción mundial de soja, el 30 % de la de maíz y de la de colza y el 70 % de la de algodón fueron transgénicas, lo que da una idea de su impacto en el sistema alimentario.

A pesar de los beneficios que se obtienen mediante los cultivos transgénicos (por cierto, muy alineados con los objetivos marcados por la Unión Europea en la estrategia “*From Farm to Fork*”, ya que permiten producir más con menos insumos y con una gran disminución de productos fitosanitarios), en la Unión Europea se ha dificultado la implantación (aunque no su importación y consumo) de dichos cultivos haciendo uso del principio de precaución en base a unos supuestos peligros del consumo de sus productos para la salud de los consumidores o para el medio ambiente ya superado décadas después por la misma práctica agronómica. La composición actual de la Unión Europea por 27 países distintos, algunos enfrentados en guerras terribles el siglo pasado, tampoco facilita una apreciación similar del valor y significado de innovaciones como la de los cultivos transgénicos. Por ejemplo, un país productor de cereales con tecnologías de mejora tradicional puede verse tentado a dificultar el cultivo o el comercio de cereales transgénicos porque le perjudica económicamente. **Sin duda será lícito, pero ¿es ético?** O podemos encontrar culturas europeas con el recuerdo de la utilización maleficente de la genética que sientan prevención frente a la ingeniería genética. **¿Es ético utilizar ese temor en los debates sin diferenciar claramente los usos y fines de las tecnologías?** En el debate sobre los cultivos transgénicos los grupos oponentes utilizaron un conjunto de argumentos falsos y diversas falacias que se pueden consultar en el capítulo sobre Mentiras Transgénicas (Beltrán, 2018). **Se traspasaron los límites éticos del debate** donde se llegó a argumentar que un determinado fin justifica los medios utilizados. **¿Alguien se responsabiliza hoy del riesgo que ha supuesto impedir los cultivos transgénicos en Europa?**

Es a destacar que, en los últimos años, se están desarrollando herramientas de mejora genética derivadas del uso de tecnologías de **edición genómica** como **CRISPR/Cas**, tecnología que ha sido galardonada con el premio Nobel de Química en el año 2020. Estas tecnologías permiten aumentar, de forma precisa, la variabilidad de los caracteres de las plantas de cultivo utilizadas hasta la fecha; esto es, permiten añadir a las estrategias de base física (uso de radiaciones) y química (uso de compuestos mutagénicos), que provocan cambios al azar, estrategias biológicas precisas, ya que la edición genómica hace posible cambiar de forma específica un único gen o incluso varios sin alterar el resto del genoma.

La principal novedad que aportan estas tecnologías es que permiten generar cambios en puntos concretos de los genomas. Estos cambios pueden consistir en mutaciones en un gen concreto

o en la introducción de un gen en un lugar preciso del genoma. Lo relevante es que **se pueden mejorar las plantas sin la introducción de genes foráneos en las mismas**. Para ello, fabricamos en el laboratorio una molécula sonda basada en una secuencia de RNA que llamamos sgRNA, que es complementaria a la secuencia del gen diana que queremos modificar. Esta sonda la asociamos a una nucleasa que es capaz de cortar la doble hebra del ADN del gen diana. Introducido este conjunto (sonda y nucleasa) en las células, se produce el corte del gen diana y, por tanto, su inactivación. Las células disponen de sistemas de reparación de daños que se activan al detectar una rotura y, durante esa reparación, se producen, a veces, errores que inactivan el gen diana. Por tanto, si detectamos una mutación que se ha producido en la naturaleza, al azar, en una planta, y que es responsable de un carácter de interés, podemos mediante la tecnología CRISPR/Cas, reproducirla sin necesidad de incorporar gen alguno. En mi laboratorio comprobamos que la androesterilidad en el tomate está asociada al desarrollo de frutos partenocárpico (sin semillas), que son fundamentales para producir tomates de uso industrial. Cuando editamos los genes que intervienen en la fabricación del polen de tomate, cualquier variedad produce frutos sin semillas. Como hemos dicho, estas tecnologías también permiten incorporar genes foráneos en lugares precisos del genoma, por lo que se pueden utilizar para obtener una nueva generación de cultivos transgénicos (Beltrán, J.P., *et al*; 2021).

Los mejoradores tienen muchas esperanzas en la incorporación de las denominadas “**New Plant Breeding Techniques**” basadas en la edición genética.

Los factores políticos y regulatorios y el futuro de la agricultura.

Conviene recordar ahora la importancia de los factores políticos y regulatorios. Es conocida la dificultad actual que impone la Unión Europea para cultivar cosechas transgénicas de primera generación. Pues bien, sorprendentemente, de nuevo, respecto de las técnicas de edición genética, los órganos jurídicos responsables de las regulaciones europeas están dando el mismo tratamiento a las plantas editadas, que reproducen con precisión una mutación de interés producida al azar en la naturaleza, que a los cultivos transgénicos, cuya regulación se adoptó en base a un principio de precaución hoy ya superado; regulación que lleva más de veinte años sin modificarse.

La incorporación de las técnicas de edición de genomas a las técnicas de mejora de la agricultura del futuro es urgente. La mera edición de genes cuando no se añade material genético, es similar a las mutaciones que ocurren espontáneamente en la naturaleza y no genera riesgos para la salud o para el medio ambiente distintos a los que se pueden producir utilizando la mejora tradicional. Sin embargo, la edición genómica puede contribuir a la producción más sostenible y resiliente al cambio climático. Debemos juzgar los alimentos por lo que son y también por lo accesibles que resulten a los ciudadanos. Para garantizar el acceso de todos a los alimentos en las condiciones que defiende la *FAO* deberemos permitir el uso y la evaluación de todas las tecnologías disponibles. De acuerdo con las estimaciones demográficas vamos a necesitar todo tipo de alimentos como **los alimentos orgánicos**, en principio, obtenidos con criterios de sostenibilidad, aunque sin efectos demostrados sobre la salud del consumidor y cuyo alto precio podría conducir a una dieta dual entre los que puedan y los que no puedan pagarlos,

los alimentos obtenidos por mejora tradicional, los cultivos transgénicos sostenibles, los alimentos denominados “fast food”, muy accesibles económicamente para el consumidor, aunque deficientes desde el punto de vista dietético, y los alimentos mejorados mediante técnicas de edición genómica.

Parece oportuno dejar constancia de algunas preguntas que nos plantea el debate sobre los límites éticos que afectan a la producción de alimentos.

- ¿Es ético insistir a la población de que los alimentos orgánicos-ecológicos-biodinámicos tienen efectos beneficiosos para la salud de los consumidores?
- ¿Es ético obviar que la productividad de la agricultura ecológica es menor que la de la agricultura industrializada y que esto podría tener como consecuencia la necesidad de utilizar mayor territorio agrícola para compensar la pérdida de producción y por tanto un daño a la biodiversidad?
- ¿Es ético favorecer una dieta dual entre los consumidores que pueden pagar alimentos ecológicos y los que no pueden hacerlo?
- ¿Es ético producir alimentos *fast food* que son muy accesibles económicamente para los consumidores, aunque sean deficientes dietéticamente hablando?

En conclusión, se están produciendo avances del conocimiento que permiten augurar un aumento de nuestras capacidades de producir alimentos. No obstante, para garantizar la seguridad alimentaria se tendrán que conjugar las tecnologías de producción de alimentos, los mercados, el acceso económico de los individuos, las prácticas políticas y regulatorias y nuestros anhelos gastronómicos.

Referencias:

Beltrán, J.P. (2018). *Cultivos transgénicos*. Editorial Catarata-CSIC,126pp. Madrid. https://www.catarata.org/libro/cultivos-transgenicos_79816/

Beltrán, J.P. (2020). La edición de genes y su aplicación en Agricultura. <https://www.plataforma-tierra.es/innovacion/la-edicion-de-genes-y-su-aplicacion-en-la-agricultura/>

Beltrán, J. P. (2021). Las innovaciones derivadas de la edición genómica necesitan un marco regulatorio adecuado para su aplicación en Fitopatología. *Fitopatología* (6) (Revista de la Sociedad Española de Fitopatología) (in press).

Beltrán, J.P. *et al.* (2021). Food security and innovative tools with a Global Food System approach. *European Food and Feed Law* 16: 202-211. <https://effl.lexxion.eu/article/EFFL/2021/3/e>

Brookes, G. (2019). Twenty-one years of using insect resistant (GM) maize in Spain and Portugal: farm-level and environmental contributions. *GM Crops & Foods* 10:90-101. <https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1614393>

Comisión COSCE de estudio del Uso de Animales en Investigación Científica (2021). https://cosce.org/informes-de-usos-de-animales-en-investigacion-y-docencia-en-espana-2009-2020/?fbclid=IwAR3_OjSF53BXTNcANTk1Bk1PJnxkLbYHxgbQZ9RDVR8IBVWtqDKx2zMUek

García Reche, A. (2020). *Qué hacer con el modelo productivo. Guía básica para gobernantes audaces* 202pp. www.tirant.es. Ed. Tirant Humanidades. Valencia.

Hyney, M. (2015). Research integrity: what it means, why it is important and how we might protect it. <https://www.scienceeurope.org>. D/2015/13.334/9

Jonas, H. (2014). El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica. Edición digital 2014 Herder Editorial Barcelona.

Menz, J. *et al.* (2020). Genome edited crops touch the market: a view on the global development and regulatory environment. *Frontiers in Plant Sci.* 11:1-17. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.586027/full>

Van der Meer, P. *et al.* (2020). The status under EU law of organisms developed through novel genomic techniques. *European J. Risk Regulation* doi: 10.1017/err.2020.105 <https://www.cambridge.org/core/journals/european-journal-of-risk-regulation/article/status-under-eu-law-oforganisms-developed-through-novel-genomic-techniques/4812A77647B94B3BB789D3532379C081>

Zhu, H., Li, C. y Gao, C. (2020). Applications of CRISPR-Cas in agriculture and plant biotechnology. *Nature Reviews* 21:661-677. <https://www.nature.com/articles/s41580-020-00288-9>