

## LA DIVERSIDAD GENÉTICA Y LA VARIABILIDAD GENÉTICA: DOS CONCEPTOS DIFERENTES ASOCIADOS AL GERMOPLASMA Y AL MEJORAMIENTO GENÉTICO VEGETAL\*

### GENETIC DIVERSITY AND GENETIC VARIABILITY: TWO DIFFERENT CONCEPTS ASSOCIATED TO PLANT GERMPLASM AND BREEDING

Pedro Rimieri

Ex Investigador INTA en Mejoramiento Genético; Referente INASE; Director de Tesis y Jurado de Post-Grados.

\*Adaptado de la Conferencia Francisco Sáez 2017, 46º Congreso Argentino de Genética, San Fernando del Valle, Catamarca, Argentina

primieri730@gmail.com

---

#### ABSTRACT

This paper differentiates plant genetic resources maintained *in situ* and *ex situ* for protection and conservation, from those resources that man collects, maintains and uses for his subsistence by developing cultivated varieties through any artificial selection method. The imprecision, confusion and distortion found in many papers related to the issue raised here with respect to terminology, its meaning, its scope and its consequences, motivated the development of this opinion work. In plant breeding working collections are used as a source of variability and adaptation. In this process, unfailingly, only a part of the genetic variability is used, which is restricted in each selective cycle since the purpose of this process is to obtain new cultivars. In the selection process there is always a loss of genetic variability with respect to the population that gave rise to it. The confusion mentioned with respect to the loss of genetic variability resides in the following: the greater probabilities of success in a plant breeding program will be associated to the availability of a wide genetic variability in the starting elite collection and not in the obtained cultivar. One of the reiterated concepts attributes the loss of genetic variability to the advent of new cultivars and the narrow genetic base that they represent. The loss of genetic variability is a consequence of the achievement of genetic progress in plant breeding. In this context, the respect for diversity in protected areas and agrobiodiversity in agricultural areas, is the way for producing profitable yields while maintaining the long-term productivity as a result of the implementation of plant breeding.

**Key words:** genetic variability, genetic diversity, plant breeding, plant genetic resources

#### RESUMEN

En este trabajo se diferencian a los recursos fitogenéticos *in situ* y *ex situ* para protección y conservación, de aquellos recursos que colecciona, mantiene y utiliza el hombre para su subsistencia desarrollando variedades cultivadas obtenidas por cualquier método de selección artificial. La imprecisión, confusión y distorsión encontradas en muchos trabajos relacionados al tema aquí planteado, con respecto a la terminología, su significado, sus alcances y sus consecuencias, motivaron el desarrollo de este trabajo de opinión. En mejoramiento, las colecciones de trabajo son utilizadas como una fuente de variabilidad y adaptación. En ese proceso de obtención de cultivares, indefectiblemente, se utiliza sólo una parte de la variabilidad genética del inicio, que se restringe en cada ciclo selectivo. La confusión mencionada con respecto a la pérdida de variabilidad genética se debe a que las mayores probabilidades de éxito en un programa de mejoramiento estarán asociadas a la disponibilidad de una amplia variabilidad genética en la colección de trabajo base del mejoramiento y no en el cultivar obtenido. La diversidad genética se conserva y protege en otro ámbito y con otras disciplinas. La variabilidad genética se re-utiliza y elimina selectivamente para obtener nuevos cultivares en los procesos de selección artificial. El hombre, al obtener variedades primitivas o nuevos cultivares modernos, siempre perdió variabilidad genética con respecto a la población que le dio origen, como consecuencia del mismo proceso selectivo. Ante ese contexto, respetando la biodiversidad, se puede mantener la productividad agrícola a largo plazo con el aporte concreto del mejoramiento genético.

**Palabras clave:** variabilidad genética, diversidad genética, fitomejoramiento, recursos fitogenéticos

---

Fecha de recepción: 24/11/2017  
Fecha de aceptación de versión final: 3/12/2017

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se diferencian a los recursos fitogenéticos *in situ* y *ex situ* para protección y conservación, de aquellos recursos que colecciona, mantiene y utiliza el hombre para su subsistencia desarrollando variedades cultivadas a través de cualquier método de selección o de mejoramiento genético. En ese enfoque, tanto la protección de la diversidad como la aplicación productiva de técnicas mutagénicas, bioquímicas, moleculares y de ingeniería genética como herramientas del mejoramiento genético son compatibles y complementarias.

La imprecisión, confusión y distorsión encontradas en muchos trabajos relacionados al tema aquí planteado, con respecto a la terminología, su significado, sus alcances y sus consecuencias, motivaron el desarrollo de este trabajo de opinión, con argumentos basados en desarrollos básicos de la genética y de 50 años de experiencia tecnológica en el tema de la “variación” genética, complementados con análisis de las consecuencias productivas, sociales y ambientales.

Consideraremos dos disciplinas claras y complementarias: 1) la relacionada con la diversidad de los recursos genéticos por un lado, y 2) la de la domesticación y el mejoramiento genético por el otro lado. Definiremos a la domesticación como un proceso de selección para adaptación y al mejoramiento genético como el arte y la ciencia que mediante I+D+I mejoran y modifican a los genotipos, haciéndolos una oferta viable apta para producir (la introducción de algo nuevo).

La diversidad genética y la variabilidad genética incluyen estrategias diferentes, porque si bien ambas tienen como sustento a la genética, son esencialmente diferentes conceptualmente y prácticamente. Hay una tendencia marcada a confundirlas en el aspecto práctico, tal vez porque representan la “variación” de los recursos biológicos de las plantas por un lado y la utilizable en agricultura por otro, como también a preconceptos o creencias simples, que ignoran evidencias concretas de procesos tecnológicos complejos.

## DIVERSIDAD GENÉTICA

La diversidad genética, que en sentido amplio es el componente más básico de la biodiversidad, se refiere a las variaciones heredables que ocurren en cada

organismo, entre los individuos de una población y entre las poblaciones dentro de una especie, en condiciones naturales más o menos estables. En ese contexto la genética de poblaciones y la evolución son las disciplinas que se ocupan de entender, describir y dar las pautas para que la biodiversidad se comprenda, se proteja y se conserve.

Históricamente, los estudios relacionados con diversidad genética en plantas han estado relacionados con datos botánicos principalmente. En la actualidad, con la agricultura más intensiva y el mayor uso de herramientas moleculares para el mejoramiento genético vegetal, la agrobiodiversidad, que se refiere a la biodiversidad del conjunto de organismos vivos en los sistemas agrícolas, comienza a analizarse y discutirse, y se ponen en práctica experimentos en zonas cultivadas más o menos frágiles. Como ejemplo, el Parque Chaqueño y la Región Pampeana, más y menos frágil respectivamente como ecosistemas en ambientes agrícolas, son motivo de estudio por diversos grupos.

Así como se utilizan nuevas herramientas de la biología molecular y de la genética molecular para producir más y más sustentablemente en la agricultura, las mismas son también de gran importancia para conservar la biodiversidad más eficientemente, detectando y conservando *in situ* comunidades o poblaciones representativas de la biodiversidad o definiendo con más precisión las llamadas colecciones núcleo o *core collections* en la conservación *ex situ* del germoplasma.

Finalmente y asociado con la biodiversidad, consideraremos la selección natural como uno de los tópicos más importantes relacionándola con la evolución y las poblaciones. Los trabajos de la primera generación de genetistas de poblaciones –en particular R.A. Fisher, S. Wright y J.B.S. Haldane, a través de sus modelos matemáticos (el campo de la genética estadística)– sintetizaron darwinismo, mendelismo y biometría dando origen a la genética de poblaciones. A partir de esa base teórica se desarrolló la genética cuantitativa como herramienta de la selección y del mejoramiento genético para caracteres poligénicos, esencia de la selección biométrica y mendeliana para la obtención de cultivares.

Ya veremos más adelante, que las variedades cultivadas (*cultivars* o cultivares) son poblaciones que, cada vez en mayor proporción, están formadas por un solo genotipo.

## VARIABILIDAD GENÉTICA

Es imprescindible disponer de variabilidad genética en cualquier programa de mejoramiento. Nos referimos a la variabilidad disponible para seleccionar, que se encuentra en poblaciones o genotipos previamente adaptados, ya que la variabilidad genética de cada especie en estado silvestre, generalmente, no puede utilizarse directamente. Es así que en el mejoramiento se utilizan colecciones de trabajo como fuente de variabilidad y adaptación. En ese proceso, indefectiblemente, se utiliza sólo una parte de la variabilidad genética del inicio, que se restringe en cada ciclo selectivo. Recordemos que la finalidad de este proceso es la obtención de nuevos cultivares.

El mejoramiento genético es un largo proceso, esencialmente mendeliano y probabilístico, que termina con el desarrollo de cultivares. Un cultivar es una variedad cultivada, obtenida por selección artificial, mientras que las variedades botánicas corresponden a rangos taxonómicos entre subespecies y formas. Según el sistema reproductivo específico y la estructura genética de las poblaciones artificiales, hay cinco tipos de cultivares:

1. *Poblaciones* o *Cultivar Población*: mezcla de genotipos en especies autógamas, alógamas, o apomíticas.
2. *Sintéticos* o *Cultivar Sintético*: *idem* a Poblaciones pero sólo en alógamas, con control paterno en el origen (*Polycross*) o *Híbridos* con poca depresión del vigor en  $F_2$
3. *Líneas* o *Cultivar Línea*, generalmente *un genotipo* (línea pura), aunque Jensen, en 1952, sugirió la mezcla de líneas y, al año siguiente, N. Borlaug abogó por el empleo de variedades multilíneas en trigo obtenidas por retrocruzamiento, con tolerancia diferencial a razas de roya con fenotipos y fenologías similares (*Isolíneas*).
4. *Híbridos  $F_1$*  o *Cultivar Híbrido* con dos líneas endocriadas paternas, con efecto de heterosis, *un solo genotipo*. A algunas variantes de esa fórmula se las denomina *Cultivar Semi-híbrido*.
5. *Clones* o *Cultivar Clon* cuando *un genotipo* (*dos genotipos* en frutales o especies injertadas), es seleccionado de cualquier estructura genética o es inducido por mutagénesis, y la multiplicación es asexual. La “semilla” es un propágulo obtenido por macro- o micropropagación.

La tendencia en la mayoría de las especies es hacia los Cultivares del Tipo 3, 4 y 5, con lo cual los cultivares más

modernos se van reduciendo paulatinamente a sólo tres tipos. Los genotipos de los cultivares, una vez implantados en los cultivos, se comportan como poblaciones, con efectos macro- y microambientales importantes para su expresión. Por la tendencia antes mencionada, esas poblaciones de plantas estarán, cada vez en mayor proporción, formadas por un solo genotipo.

## LA VARIABILIDAD GENÉTICA EN EL PROCESO DE SELECCIÓN ARTIFICIAL

El hombre, desde el proceso ancestral y empírico de selección cuando comenzó la agricultura hasta el mejoramiento genético más moderno, al obtener variedades primitivas (*landraces*) o nuevos cultivares modernos, siempre perdió variabilidad genética con respecto a la población original. Esta pérdida de variabilidad genética es como consecuencia del mismo proceso selectivo, sea éste simple o complejo. En el proceso selectivo complejo que involucra criterios y métodos de selección con cualquier grado de sofisticación o de uso de técnicas avanzadas presentes y en desarrollo, también ocurre esa pérdida de variabilidad. Esto último lo ampliaremos en los próximos párrafos.

A medida que los cultivares son más avanzados (según la clasificación ya presentada) y tengan un manejo agronómico intensivo, cuanto menos variabilidad genética tengan y mejor sinteticen las combinaciones superiores de efectos genéticos aditivos o de heterosis cercanos al potencial productivo de la especie, tanto mejor. Es por ello que los cultivares *híbrido  $F_1$* , las *líneas puras* o los *clones*, son los que mejor concentran la variabilidad genética, ya sea en combinaciones superiores con alelos favorables y/o por interacciones génicas según las estructuras genéticas involucradas. Insistimos aquí que el sistema reproductivo de la especie y la estructura genética de la población representada en el cultivar, determinarán la naturaleza de los efectos genéticos y los tipos de acción génica. Entonces, es necesario resaltar aquí el objetivo y la función del mejoramiento genético: *El Mejoramiento Genético debe considerarse como un proceso de concentración de genes o combinaciones de genes favorables en un cultivar, que variará según sistemas reproductivos y estructuras genéticas específicas.*

La confusión mencionada con respecto a la pérdida de variabilidad genética reside en lo siguiente: las mayores probabilidades de éxito en un programa de mejoramiento estarán asociadas a la disponibilidad de una amplia variabilidad genética en la colección de trabajo base del mejoramiento y no en el cultivar obtenido. Y tampoco tiene que ver la pérdida de variabilidad con la pérdida de diversidad. La diversidad genética se conserva y protege en otro ámbito y con otras disciplinas. La variabilidad genética se re-utiliza y elimina selectivamente para obtener nuevos cultivares en los procesos de selección artificial de plantas. En síntesis, la variabilidad genética es el sustrato, la base o la condición de partida de la selección y del mejoramiento genético vegetal, mientras que la diversidad genética es el componente principal de la diversidad biológica, representa a los RRGG *in situ* y *ex situ* y al genoma de las especies que deben protegerse y conservarse.

## EL CONTEXTO DE LA TECNOLOGÍA EN EL TEMA

En este punto nos referiremos al *Contexto*, como el conjunto de circunstancias que rodean a la terminología tratada y sin el cual no se puede comprender globalmente el tema. Ahora veremos las consecuencias con respecto a la confusión y distorsión encontrada en muchos trabajos con la terminología concerniente al contexto tecnológico en general y a la agricultura moderna e intensiva en particular. Uno de los conceptos reiterados en trabajos científicos y de divulgación, achacan la pérdida de variabilidad genética al advenimiento de nuevos cultivares en monocultivo y a la estrecha base genética que representan. Ahora bien, si eliminamos el verbo “achacar” de la frase anterior, lo que se expresa es cierto. Es más, es así técnica y conceptualmente como lo acabamos de mencionar y explicar en los puntos anteriores. Entonces, no nos queda más que preguntarnos: ¿por qué se distorsiona la información? Para responder a la pregunta y sin apartarnos de la genética, debemos recurrir a conceptos de las ciencias sociales y de la psicología, simplificados y adaptados a la finalidad de este trabajo. Por ejemplo, se menciona desde la revolución industrial en el siglo XVIII, que el avance tecnológico genera incertidumbre en la sociedad. Pero aquí planteamos que no debería generarse incertidumbre en lo que estamos desarrollando dentro del ámbito de I+D+I, campo de

conocimientos objetivos y verificables. Sintéticamente, de la amplia bibliografía del tema, tomaremos algunas citas que la adaptaremos al contexto.

Los especialistas coinciden que *la sociedad moderna está mucho más fragmentada que hace años, en especial por la revolución digital*. Y buscando nuevos paradigmas, el profesor Manuel Castells, en su artículo “La dimensión cultural de internet”, menciona que *el nuevo paradigma tecnológico tiene dos expresiones tecnológicas: una es Internet. La otra es la ingeniería genética*. Relacionado con la ingeniería genética, desde que surgió la misma, distintos sectores de la comunidad nacional e internacional la cuestionaron y asustaron a la población sin evidencias científicas. Esto de asustar a la población viene de lejos en la historia. Ya en el siglo XVIII, el escritor, filósofo y político británico Edmund Burke escribió “El miedo es el más ignorante, el más injusto y el más cruel de los consejeros”.

Quienes están preocupados por el hambre en el mundo y reconocen divergencias extremas en la alimentación de la población mundial, ven con esperanza y sin prejuicios las ventajas de la incorporación de nuevas herramientas para producir más y mejores alimentos. Así es que la Pontificia Academia de las Ciencias desde 2001 y hasta 2009, declararan que *no hay nada intrínseco al uso de la tecnología de ingeniería genética para el mejoramiento vegetal que pueda hacer que las plantas o sus productos alimenticios derivados pierdan su inocuidad*. Es necesario remarcar aquí, que si bien los científicos disponen cada vez de más información, descuidan frecuentemente la visión holística en sus investigaciones por diversas razones, que exceden este trabajo y que tienen que ver con: a) sus propias carreras de investigador o tecnólogo, b) la publicación de artículos en un sistema exigente para difundir trabajos y c) la necesidad de reconocimiento y la vanidad. Como consecuencia, se condicionan las investigaciones y la difusión de resultados. Ese condicionamiento de diversa índole desde la exigencia a publicar hasta la ideología del investigador, del grupo de trabajo o de la revista en donde se publica, se agrava cuando la información no está asociada a ideas, que es una manera de pensar para que las investigaciones adquieran relevancia.

Cada vez más frecuentemente se reemplazan las ideas por el *marketing*, en muchas actividades. De ahí surgió la posverdad que refiere a las informaciones o aseveraciones para modelar la opinión pública que no se basan en hechos objetivos, sino que apelan a las emociones, creencias o deseos

del público. Si bien esa definición y planteo se generó en la política y continuó en otros ámbitos, resulta preocupante que ese fenómeno ya esté presente en la ciencia y en la tecnología. En el contexto tecnológico en general y de la agricultura moderna e intensiva en particular, se observan fenómenos ya estudiados por la sociología: “hay mitos o doctrinas que rechazan las consecuencias de la modernidad surgidas desde la modernidad tecnológica”. Veamos algún ejemplo en la producción de alimentos *básicos* para la población humana más desprotegida. Se ha demostrado, incontrastablemente, que los avances tecnológicos en la producción de alimentos para la población humana, se pueden realizar sin que se afecte la sostenibilidad de los sistemas ni la seguridad alimentaria. Con control, claro. Entonces, volviendo a los mitos o doctrinas deberíamos formular la siguiente pregunta más específica sobre el tema: ¿Por qué se rechazan algunas de las consecuencias de la modernidad y no otras? Para ello, recurriremos a tres situaciones claras en la que el rechazo está directa o indirectamente presente en ciertos trabajos o grupos de trabajos opinando o concluyendo sobre la agricultura moderna e intensiva en particular:

1. Se rechazan los transgénicos en plantas.
2. Se culpa a la revolución verde, al *arroz dorado transgénico*, etc., de ciertos riesgos alimentarios.
3. Se rebautizan como tóxicos compuestos químicos para la agricultura.

Hasta al ADN, que es universal en los seres vivos es transformado en tóxico, distorsionando y afirmando en diferentes trabajos que los transgénicos son tóxicos.

Los puntos mencionados están muy asociados a la FAO, cuyo mandato es que impere la seguridad alimentaria elevando los niveles de nutrición, mejorando la productividad agrícola, las condiciones de la población rural, y contribuyendo a la expansión de la economía mundial. Claramente se rechazan en mayor medida las consecuencias de la modernidad en alimentos y agricultura que en otras disciplinas, si bien los controles de los productos de la ingeniería genética en plantas son tan o más estrictos que en otros *ámbitos* tan sensibles como la salud humana y la contaminación de diversa índole, generada directa o indirectamente por la población humana.

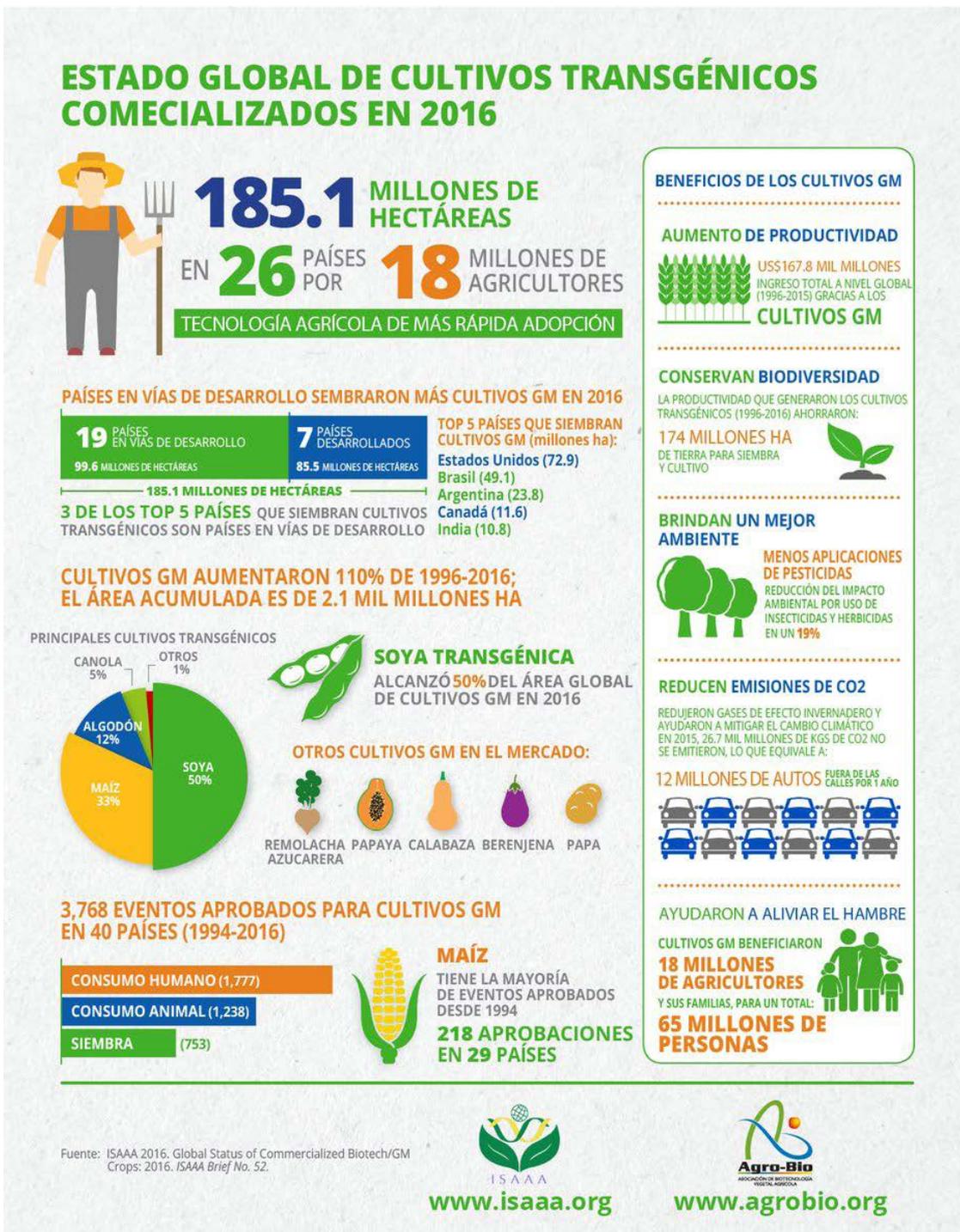
Por ejemplo, en los productos fitosanitarios normalmente utilizados en agricultura en la Argentina, el riesgo es cada vez menor (bien utilizados) para la salud humana. Sin embargo, diversas organizaciones y científicos

valiéndose de la posverdad y del impacto mediático los denominan agrotóxicos sin evidencias concretas. Entre 1985 y 2012 los productos fitosanitarios muy peligrosos (clase I) que eran 25% del total fueron reemplazados y actualmente 90% de ellos son clase IV de muy bajo riesgo toxicológico para el ser humano. No existe otra actividad humana, fuera de la agricultura moderna, en la que en pocas décadas se haya revertido, positivamente, el impacto de la toxicidad como pasó con los productos fitosanitarios.

A lo anterior hay que sumarle que en la agricultura moderna, el mejoramiento vegetal con métodos convencionales complementados y potenciados con modernas herramientas de la ingeniería genética, logra resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades que disminuyen o sustituyen el uso de productos fitosanitarios mejorando el ambiente. Además, se logró el aumento de la productividad por unidad de superficie de alimentos en particular, lo que permite aislar y conservar áreas para la biodiversidad (Figura).

De todo ese avance biotecnológico en el mundo, la Argentina tuvo y tiene un rol importante por al menos dos motivos:

1. Es un país con una larga trayectoria agrícola-ganadera y tiene antecedentes de mejoramiento genético de nivel internacional en cultivos como trigo y maíz, papa y maní, forrajeras y hortícolas, además de algodón, caña de azúcar y yerba mate, para nombrar las especies cultivadas con más trayectoria local, aunque en distinta medida se ha avanzado en la selección de alrededor de 50 especies de cereales y oleaginosas, forrajeras, hortícolas, frutícolas, forestales, florales e industriales.
2. Es el tercer productor de soja después de USA y Brasil, pero es el primer exportador de derivados agroindustriales (66% del total exportado) y de grano de soja (34% del total exportado). En menos de 20 años desde su primera comercialización, casi el 100% de la soja sembrada en la Argentina es transgénica y esos cultivares tienen un gran potencial de rendimiento y adaptación, logrados con el mejoramiento genético local. La Argentina es además, exportador neto de maíz, trigo, girasol, peras, manzanas, limones y derivados (primer productor mundial), entre muchos otros, con una agroindustria que junto al mejoramiento genético y a la agricultura, respetando a la diversidad en las zonas protegidas y a la agrobiodiversidad en zonas agropecuarias, son el camino para alimentar al mundo y proveer energía.



ISAAA. 2016. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops for 2016. ISAAA No. Brief 52. ISAAA, Ithaca, New York, USA, <http://www.isaaa.org>

## CONCLUSIONES

Ante ese contexto o conjunto de circunstancias relacionadas con la terminología, su significado, sus alcances y sus consecuencias, que fueron desarrollados en esta entrega y viendo cómo se distorsiona la información referida al tema, tal vez, una buena conclusión esté asociada a los prejuicios sobre cuestiones que no se conocen bien. Esperemos entonces, que la ciencia, hoy en parte cautivada por la posverdad, esté a la altura de las circunstancias y ayude a definir como alimentar a 9.000 millones de personas, con pragmatismo mediante el uso de la tecnología disponible, respetando a la diversidad y conservando los recursos genéticos estratégicos para responder a los retos del futuro.

## LECTURAS RECOMENDADAS

*Genética, mejoramiento y obtención de cultivares:*

- Doré C., Varoquaux F. (coord.) (2006) Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. INRA. Editions Quae. 812 pp.
- Gallais A. (1990) Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Masson, Paris. 588 pp.
- Rimieri P. (2013) La estructura genética de poblaciones de plantas condiciona la interpretación de parámetros y su alcance en caracteres ecofisiológicos. BAG. Journal of Basic & Applied Genetics, 24: 5-10. |

*Grupo de estudios de sistemas ecológicos en ambientes agrícolas:*

<https://sites.google.com/site/geseaaegeuba/home>

*Biotecnología:*

<http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades&note=399>  
<http://argenbio.org/index.php?action=biblioteca&opt=8>  
<https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/biotecnologia/conabia/>  
<http://www.isaaa.org>  
<http://www.agrobio.org>

*La dimensión cultural de internet:*

<http://www.uoc.edu/culturaxxi/esp/articles/castells0502/castells0502.html>

*Agricultura y buenas prácticas:*

<http://www.casafe.org>