

# Inocuidad de cultivos y alimentos biotecnológicos, “20 años de comercialización”

Safety of biotechnological crops and foods, “20 years of marketing”

Giovanni Garro-Monge<sup>1</sup>

---

*Fecha de recepción: 29 de agosto de 2016*  
*Fecha de aprobación: 3 de diciembre de 2016*

Garro-Monge, G. Inocuidad de cultivos y alimentos biotecnológicos, “20 años de comercialización”. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-2. Abril-Junio 2017. Pág 67-74.

DOI: 10.18845/tm.v30i2.3198



<sup>1</sup> Centro de investigación en Biotecnología (CIB), Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ggarro@itcr.ac.cr

## Palabras clave

Cultivos transgénicos; alimentos biotecnológicos; inocuidad, bioseguridad; ingeniería genética; hibridación; mutagénesis; edición génica; poliploidía; fusión de protoplastos.

## Resumen

La biotecnología ha sido utilizada desde hace miles de años para obtener beneficios para el ser humano. Desde mucho antes los seres humanos han utilizado técnicas como la hibridación, mutagénesis y poliploidía, generando cambios a nivel genético para obtener características deseables. Actualmente es posible utilizar la ingeniería genética para modificar o transferir genes de un organismo a otro con el fin de obtener productos con ciertas ventajas respecto a su contraparte convencional. Las técnicas de ingeniería genética se iniciaron desde hace 30 años a nivel de investigación y hace ya 20 años se comercializan a gran escala productos generados mediante ellas. A pesar que se han generado diversas observaciones en cuanto a su inocuidad y bioseguridad por ciertos sectores de la sociedad, a la fecha hay múltiples estudios con gran respaldo científico que garantizan sus uso seguro en diversas partes del mundo. En estos se concluye de manera general, que a nivel ambiental y de salud humana, no existen diferencias entre el mejoramiento convencional y el mejoramiento por ingeniería genética. El desarrollo de alimentos mejorados mediante biotecnología está acompañado por estrictas normas de bioseguridad y marcos regulatorios, los cuales involucran análisis de riesgo con pruebas de larga duración para asegurar la inocuidad del alimento.

## Keywords

GM crops; biotechnology foods; food safety; biosecurity; genetic engineering; hybridization; mutagenesis; gene editing; polyploidy; protoplast fusion.

## Abstract

Biotechnology has been used for thousands of years to obtain benefits for humans. Long before humans have used techniques such as hybridization, mutagenesis and polyploidy, generating changes at the genetic level to obtain desirable characteristics is now possible to use genetic engineering to modify or transfer genes from one organism to another in order to obtain products with certain advantages over its conventional counterpart. Genetic engineering techniques were started 30 years ago at the level of research and 20 years ago generated products are marketed on a large scale through them. Although several observations have been made regarding their safety and biosafety by certain sectors of society, to date there are many studies with great scientific support that guarantee their safe use in many parts of the world. In these we conclude generally that to environmental and human health level, there is no difference between conventional breeding and improvement engineered. The crops and food improvement through biotechnology is accompanied by strict standards and regulatory biosafety frameworks, which involve risk analysis with long-term tests to ensure food safety..

## Introducción

La biotecnología es el uso de organismos vivos para la obtención de bienes y servicios útiles para el ser humano. Su uso se remonta a miles de años atrás, siendo los ejemplos más claros el uso de microorganismos (hongos y bacterias) para producción de quesos, pan y vino [1]

Actualmente la biotecnología se encuentra más avanzada y se ha convertido en uno de los campos de la ciencia más importantes y con muchas áreas aún por explotar debido a los beneficios que presenta para la sociedad y el ambiente [2]

La biotecnología moderna surge en la década de los 80's, y se basa en el uso de técnicas de ADN recombinante por medio de la ingeniería genética para modificar o transferir genes de un organismo al otro con el fin de obtener productos que beneficien al ser humano. Sin embargo desde mucho antes los seres humanos han utilizado técnicas para obtener productos con características deseables y de mayores rendimientos, como selección artificial, cruce de especies para la generación de híbridos o el uso de mutágenos para la obtención de mutantes. Actualmente es posible la utilización técnicas más eficientes como la ingeniería genética o más recientemente, la edición génica para modificación de cultivos de interés agronómico.

A partir de éstas dos últimas técnicas, actualmente se pueden obtener los alimentos conocidos como GMO (Genetically Modified Organism) u Organismos genéticamente modificados (OGMs) en español. Estos han sido mejorados mediante biotecnología con el fin de obtener características tales como: mayor calidad nutricional, tolerancia a sequía, resistencia a plagas, entre las más comunes. Estas mejoras se logran mediante la introducción y/o modificación de pequeñas secciones del ADN (genes) de la planta, utilizando técnicas como las que se muestran en la figura 1. La utilización de cultivos genéticamente modificados mediante ingeniería genética se mantiene en aumento, sobre todo en cultivos básicos o “commodities” como maíz, soya y canola por sus ventajas en rendimientos de producción en comparación con las técnicas convencionales de cultivo.

## Técnicas de modificación genética de cultivos

Existen diversas técnicas de mejoramiento genético de organismos, a continuación se mencionan algunas de estas:

*Cruce (hibridación):* El cruzamiento tradicional es la técnica de mejoramiento que ha sido más usada durante años. Según Nodari & Guerra [3] el cruce sexual de plantas es una transferencia vertical de genes entre plantas de diferentes variedades pero de la misma especie o especies emparentadas. Esta técnica por lo tanto consiste en la polinización controlada para obtener variabilidad y seleccionar la descendencia que muestre mejor rendimiento agronómico o características de interés como color o patrón de floración.

*Mutagénesis:* esta técnica utiliza mutágenos que pueden ser compuestos químicos o uso de radiación (rayos gama), para inducir mutaciones en el ADN y por lo tanto ampliar la variabilidad genética y seleccionar variantes morfológicos y fisiológicos, que mediante un adecuado proceso de selección y mejoramiento pueden llegar a constituir nuevas variedades [4]. Este método genera cambios al azar, no es una técnica específica.

*Poliploidía inducida:* Según Ramírez-Godina *et al.* [5] la poliploidía es un estado biológico inducible caracterizado por la multiplicación del número de cromosomas de un mismo individuo, con lo cual se logra incrementar la variabilidad genética, que puede ser aprovechada por los fitomejoradores. Por ejemplo la triploidía en banano y en Sandía.

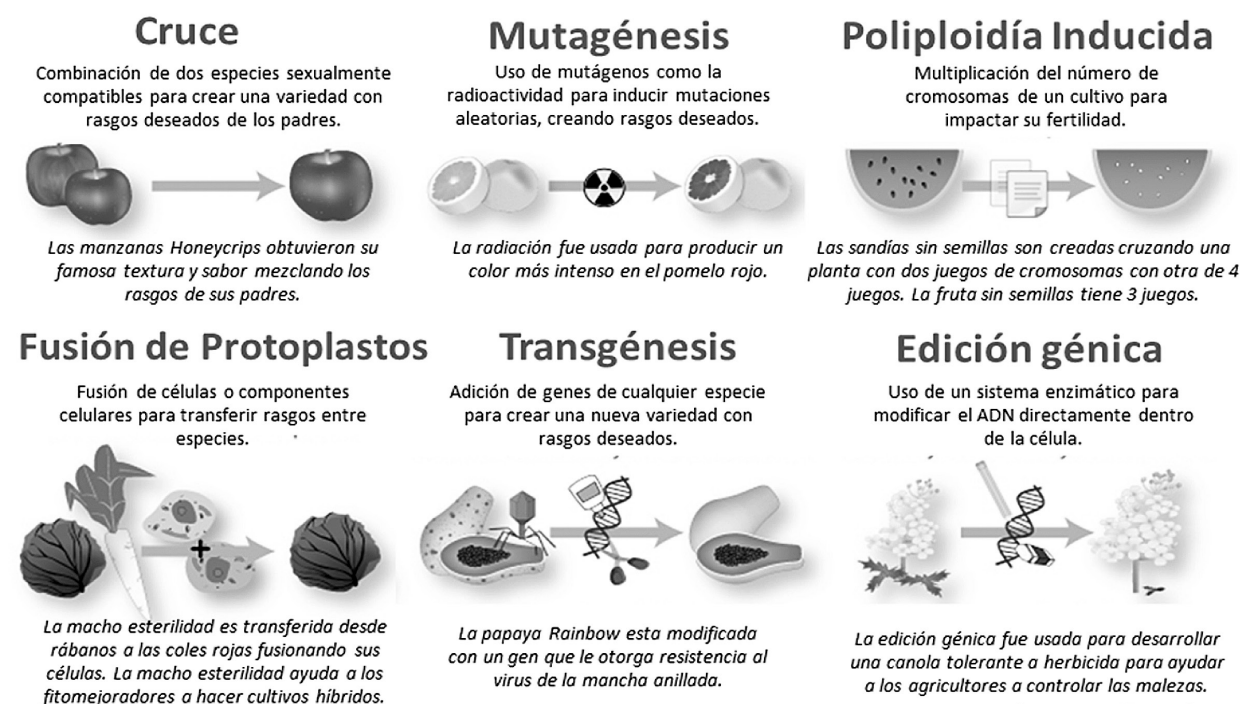
*Fusión de protoplastos:* Según Peña [6] se puede inducir fusión entre protoplastos de a) la misma planta, b) de plantas de la misma especie (intraespecífica) y c) entre diferentes especie o género vegetal (interespecífica). Las fusiones de tipo b y c pueden resultar en la formación de híbridos genéticos.

*Transgénesis:* Según Nodari & Guerra [3], la transgénesis es una transferencia horizontal de genes, es decir, mediada por vectores como plásmidos. Es por tanto la inserción de uno o unos

pocos genes mediante técnicas de ingeniería genética con el objetivo de obtener características de interés industrial, o bien mejorar ciertos rasgos como resistencia a plagas, sequía, calidad nutricional, etc.

*Edición génica:* Los principales sistemas de edición génica, son los TALENs y los CRISPRs. Ambos sistemas se basan en el uso de enzimas de restricción y polimerasas que son capaces de identificar segmentos específicos de ADN, de forma que es posible utilizarlos para cortar regiones específicas del ADN e introducir segmentos de ADN en el genoma del organismo [7].

## Técnicas de modificación genética de cultivos



**Figura 1.** Distintas técnicas de modificación genética de cultivos de interés comercial. Fuente: Adaptado de Biology Fortified (www.biofortified.org).

La utilización de la transgénesis para la modificación de cultivos de interés comercial, ha generado una respuesta negativa de aceptación por un sector de la sociedad, sin embargo, desde que los cultivos de origen biotecnológico se empezaron a comercializar en 1996, no existe ninguna investigación con solidez científica que indique que estos generan algún daño al ambiente o a la salud humana. Por el contrario, múltiples estudios han señalado beneficios para la sociedad en general y el ambiente[8]. Durante los últimos 30 años, se ha generado gran cantidad de investigación de organismos genéticamente modificados. La Academia Nacional de Ciencias (National Academy of Sciences) de Estados Unidos, es un órgano independiente, con gran solidez científica, que se encarga de proporcionar asesoramiento objetivo a su nación en temas relacionados con ciencia y tecnología. Recientemente este órgano publicó una revisión de cerca de 900 investigaciones de cultivos biotecnológicos desde que se empezaron a comercializar en 1996. En términos generales este reporte concluye que a nivel ambiental y

de salud humana, no existen diferencias entre el mejoramiento convencional y el mejoramiento por ingeniería genética [9].

Dicho reporte analiza más de 900 publicaciones, 700 comentarios y 80 disertaciones, y como puntos claves se analiza el impacto de estos cultivos a nivel ambiental - agrícola y de salud humana. A continuación se resumen los principales hallazgos obtenidos en la revisión realizada por National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [9].

#### **Ambiental – agrícola:**

1. Los cultivos biotecnológicos comerciales tienen beneficios económicos para los agricultores que los adoptan.
2. Los cultivos tolerantes a insectos tienen una tendencia a resistir a mayor diversidad de insectos al compararlos con cultivos no mejorados donde se aplica una mayor cantidad de insecticidas.
3. El uso de cultivos con tolerancia a herbicidas o resistencia a insectos no reduce la diversidad de plantas e insectos.
4. A pesar de que pueda existir flujo de polen-genes hacia variedades silvestres no existen ejemplos que demuestren un efecto adverso al ambiente

#### **Salud Humana:**

1. Los estudios en animales, los datos experimentales, así como el análisis de datos de largo plazo de la salud y de la tasa de conversión de alimentación antes y después de la introducción de biotecnología demuestra que no existen efectos adversos asociados con la alimentación de animales con transgénicos.
2. No hay diferencias significativas nutricionales ni de composición química entre los alimentos genéticamente modificados y su contraparte no modificada, y las diferencias que se pueden encontrar son parte del rango natural esperado.
3. No se encontraron evidencias epidemiológicas que vinculen el consumo de transgénicos con efectos negativos en la salud como cáncer, daño renal, obesidad, diabetes tipo II o autismo.
4. La leche de rumiantes alimentados con granos biotecnológicos no contiene genes ni proteínas transgénicas.
5. Existen varios cultivos en desarrollo que están diseñados para el beneficio de la salud humana, como el arroz con un contenido aumentado de beta caroteno para prevenir la ceguera y muerte ocasionada por la deficiencia de vitamina A en países en desarrollo.
6. Existen mejoras que podrían beneficiar la salud, por ejemplo aceites con omega.
7. Es posible que los cultivos biotecnológicos resistentes a insectos tengan beneficios a la salud al contener menos toxinas como aflatoxinas y fumonisinas derivados del ataque de insectos y posterior crecimiento de hongos en comparación con cultivos no mejorados.

#### **Inocuidad**

El desarrollo de alimentos mejorados mediante métodos biotecnológicos debe ir acompañado por normas y marcos regulatorios de bioseguridad, de forma que antes de liberar algún cultivo para comercialización se debe someter a una serie de pruebas, asegurando así que el organismo a liberar no presenta riesgos novedosos en el ambiente donde será introducido [10]

Las pruebas que se realizan son de larga duración y generalmente son llevadas a cabo por instituciones gubernamentales y privadas (FDA, USDA, FAO, UNESCO, OMS). En estas, en términos de inocuidad, el análisis se centra en estudiar la posible alergenicidad y/o toxicidad de los nuevos productos [2, 8]. El análisis tan minucioso de los cultivos genéticamente modificados ha generado gran cantidad de información, de forma que puede contribuir a prevenir muchos de los problemas sanitarios que en el pasado han ocasionado alimentos producidos por otras técnicas como la orgánica y la convencional [11].

Por tanto todos los organismos transgénicos que han sido liberados para comercialización y consumo humano, han sido sometidos a estudios que suelen tardar años antes de la aprobación o liberación del mismo para su comercialización. De esta forma se garantiza que el organismo modificado genéticamente no presenta diferencias significativas con respecto a su contraparte convencional en cuanto a calidad nutricional y riesgo para el ambiente, con la excepción, claro está del nuevo rasgo introducido. Así mismo esta larga cadena de bioseguridad y marco regulatorio para dichos productos ha incidido en el costo del desarrollo de los mismos hasta su eventual comercialización [12]. Esta es una de las razones por las cuales muchos de estos productos terminan siendo comercializados por entes privados que son lo que poseen la capacidad técnica y financiera para llevar a cabo todo el proceso. Sin embargo en la actualidad ya existen ejemplos de productos locales desarrollados por órganos públicos como Universidades e Instituciones públicas, con especies nativas tales como la Berenjena de Bangladesh resistente a plagas [13] y el frijol de Brasil, resistente a un virus [14].

Un ejemplo importante en relación con la inocuidad de los alimentos transgénicos, es el salmón AquAdvantage®, el cual es un salmón que alcanza su tamaño comercial en la mitad del tiempo que lo hace la variedad convencional. Este pez fue aprobado para su comercialización por la FDA a finales del año 2015, convirtiéndose así en el primer animal genéticamente modificado aprobado para consumo humano. AquaBounty Technologies, que es la empresa encargada de la producción de este salmón, dio inicio al proceso regulatorio en setiembre de 1995 [15], es decir, 20 años de estudios para garantizar la inocuidad del alimento.

Entre las principales conclusiones a las que llegó la FDA, es que este pez no significa una amenaza cuando crece en estanques de cultivo, sin embargo existen diferentes barreras biológicas y físicas para evitar que este salmón pueda escapar y dejar descendencia con algún salmón de tipo silvestre [16]. Después de una revisión rigurosa y exhaustiva por parte de la FDA, se llegó a la decisión de que el salmón AquAdvantage® es tan seguro para consumo como cualquier otro salmón atlántico convencional, así como igual de nutritivo [17].

Asimismo, en noviembre del 2014, se aprobó la papa Innate®, la cual ha sido modificada mediante ingeniería genética introduciendo un gen que activa una ruta de ARN de interferencia, de este modo se silencia la expresión del gen que produce la polifenol oxidasa, de forma que la papa Innate® no se oxida [18]. Además esta papa, posee poca cantidad de acrilamida, esto se logra mediante el silenciamiento del gen de la enzima asparagina sintetasa- 1 (ASn1) [19]. La acrilamida ha sido relacionada con el cáncer en roedores y eventualmente podría tener efectos en sectores de la población.

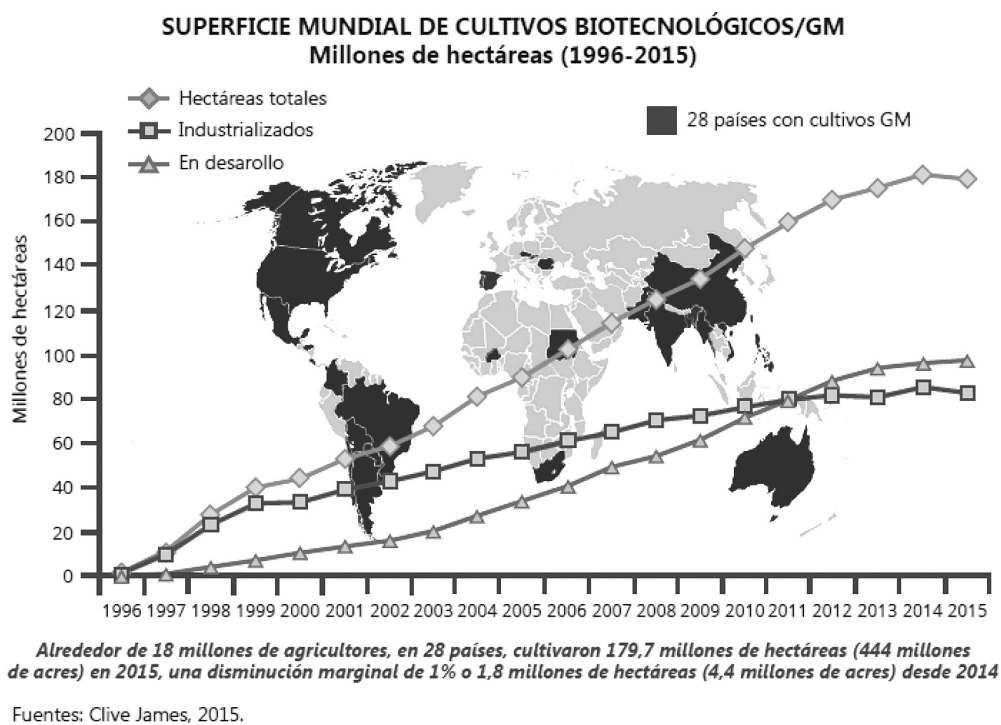
Debido a todos estos análisis, ninguno de los organismos mejorados mediante biotecnología liberados hasta la actualidad, ha presentado riesgos para la salud de las personas y el ambiente, demostrando que son tan seguros como sus pares convencionales [2, 8]. *Cultivos biotecnológicos a nivel mundial*

En este año 2016, se cumplen 20 años de comercialización mundial de cultivos biotecnológicos. Según el reporte de ISAAA [20] durante estos años (1996 a 2015) se han cultivado 2.000 millones de hectáreas de OGMs a nivel mundial, las cuales corresponden a soja, maíz, algodón y canola biotecnológica principalmente. Sin embargo existen más de 25 cultivos genéticamente



modificados aprobados para su comercialización. Estos cultivos han generado beneficios para los agricultores que superan los US \$150 mil millones, según James (2015). Además, durante el año 2015, los cultivos biotecnológicos para comercialización, alcanzaron un total de 179,7 millones de hectáreas, mostrando una disminución del 1% o de 1,8 hectáreas con respecto al 2014, tal como es posible observar en la figura 2.

La experiencia durante los primeros 20 años de comercialización de cultivos biotecnológicos demuestra que han cumplido con la promesa inicial de estos, ofreciendo beneficios agrícolas, ambientales, económicos y a la sociedad en general, beneficiando incluso al sector de salud humana. Además la rápida adopción de estos cultivos por los agricultores, demuestra que reciben beneficios importantes y por tanto han decidido cultivarlos con fines comerciales [20].



**Figura 2.** Área global de cultivos biotecnológicos. Millones de hectáreas desde 1996 hasta 2015. Según James [20].

## Conclusiones

La adopción de cultivos genéticamente mejorados ha mostrado aumento considerable en los últimos 10 años debido a los múltiples beneficios que representan para la sociedad en general. Tal como lo indica Trigo *et al.* [21] para el año 2050, no solo se cuenta con los desafíos del aumento de la población mundial, sino también con el dilema de menos tierra cultivable disponible, menos agua y menos personas que se dediquen a la agricultura primaria.

Además, la sociedad se enfrenta a problemas de nutrición que pueden ser solventados mediante la producción de estos organismos. De esta forma la Biotecnología sigue posicionándose como una herramienta moderna y eficiente para ofrecer oportunidades y alternativas inocuas en todos estos campos de acción.

## Referencias

- [1] Renneberg, R. *Biotecnología para principiantes*. España. Reverté., (2009).
- [2] Garro, G. *Crop and food development through modern biotechnology techniques in Central America*. Tecnología en Marcha. Edición especial inglés. Febrero. Pág 54-69, 2016.
- [3] Nodari, R. O. & Guerra, M. P. *La bioseguridad de las plantas transgénicas. Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Santiago de Chile: CEPAL, 111-22., 2013.
- [4] Patade, V. Y., & Suprasanna, P. "Radiation induced in vitro mutagenesis for sugarcane improvement". *Sugar Tech*, 10(1), 14-19, 2008.
- [5] Ramírez-Godina, F., Robledo-Torres, V., Foroughbakhch-Pournavab, R., Benavides-Mendoza, A., Alvarado-Vázquez, M. A., & Quistián-Martínez, D. "Caracterización de tetraploides y formación de híbridos triploides en tomate de cáscara". *Ciencia UANL*, 16(64), 55-66, 2013.
- [6] Peña, L. "Transgenic Plants: Methods and Protocols" U.S. Humana Press Inc., 2005
- [7] Baker, M. "Gene editing at CRISPR speed". *Nature biotechnology*, 32(4), 309-312, 2014
- [8] Nicolía, A., Manzo, A., Veronesi, F., & Rosellini, D. "An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research". *Critical reviews in biotechnology*: 34(1), 77-88, 2014
- [9] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. "Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects". Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/23395; 2016.
- [10] Paes de Andrade, P., Parrott, W., & Roca, M. "Guía para la evaluación de riesgo ambiental de organismos genéticamente modificados" (1era ed.) International Life Sciences Institute do Brasil., 2012
- [11] Garro, G. "Biotecnología moderna e inocuidad alimentaria". *Alimentaria* 75: 34-37. , 2004
- [12] Prado, J. R., Segers, G., Voelker, T., Carson, D., Dobert, R., Phillips, J. & Reynolds, T. *Genetically engineered crops: from idea to product*. .Annual review of plant biology, 65, 769-790, 2014.
- [13] Rai, N. P., Rai, G. K., Kumar, S., Kumari, N., & Singh, M. "Shoot and fruit borer resistant transgenic eggplant (*Solanum melongena* L.) expressing cry1Aa3 gene": Development and bioassay. *Crop Protection*, 53, 37-45, 2013.
- [14] Aragão, F. J., Nogueira, E. O., Tinoco, M. L. P., & Faria, J. C. "Molecular characterization of the first commercial transgenic common bean immune to the Bean golden mosaic virus". *Journal of biotechnology*, 166(1), 42-50, 2013.
- [15] Van Eenennaam, A. L., & Muir, W. M. "Transgenic salmon: a final leap to the grocery shelf?" *Nature Biotechnology*, 29(8), 706, 2011
- [16] Garro, G. & Méndez, L. "Uso de biotecnología modifica salmón para que crezca en la mitad del tiempo convencional". *Alimentaria* 141: 24-27, 2015
- [17] FDA Food and Drug Administration. Disponible en: <http://www.fda.gov/forconsumers/consumerupdates/ucm472487.htm>, 2015.
- [18] Garro, G. & Méndez L. (2016). "OGM: caso de papa y manzana que no se oxida". *Alimentaria* 144: 29-31.
- [19] Waltz, E. "USDA approves next-generation GM potato". *Nature biotechnology*, 33(1), 12-13, 2015
- [20] James, C. "20 aniversario de la comercialización mundial de cultivos biotecnológicos (1996 a 2015) y hechos destacados de cultivos biotecnológicos". *International Service for the Acquisition of Agri- Biotech Applications (ISAAA)*, 2015.
- [21] Trigo, E., Falck-Zepeda, J., & Falconi, C. *Biotecnología agropecuaria para el desarrollo en América Latina: Oportunidades y retos*. Inter-American Development Bank, 2010.