

## BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

### La Biotecnología Vegetal en el entorno europeo

Pere Puigdomènech

Centre de Recerca en Agrigenòmica. CSIC-IRTA-UAB-UB. Campus UAB. Bellaterra. Barcelona

Podemos considerar la Biotecnología Vegetal tan antigua como la misma acción de los humanos sobre los vegetales con el objetivo de obtener de ellos productos para la alimentación u otros usos, por tanto tan antigua como la Agricultura. Sin embargo ha sido en el siglo XX con la introducción de la Genética primero y de la Biología Molecular después, que se ha desarrollado esta disciplina en su forma actual. Desde 1983 ha sido posible obtener plantas con modificaciones genéticas obtenidas con métodos moleculares. Estas plantas han sido el objeto de regulaciones especiales y de un intenso debate. El desarrollo de la Genómica permite la extensión de estas aplicaciones y de otras que no requieren de técnicas de transformación. En cualquier caso, la Biotecnología Vegetal ha demostrado su utilidad para responder a los retos que la producción agrícola tiene en el próximo futuro. La producción de alimentos y otros materiales en un entorno de crecimiento de la población y de cambios en el clima está necesitando utilizar todo el conocimiento disponible en la actualidad.

#### Palabras clave:

Modificación genética, mejora genética, genómica, regulaciones europeas, debate social.

#### El contexto

La acción de los humanos sobre los vegetales para obtener de ellos alimento y otros productos ha sido constante desde el inicio mismo de las sociedades sedentarias y posiblemente desde mucho antes. Por ello puede argumentarse que al domesticar plantas y al tratar los productos vegetales con microorganismos en las fermentaciones se iniciaba la Biotecnología Vegetal, milenios antes de que la palabra misma fuese inventada. Sin embargo, el desarrollo en el siglo XX primero de la Genética y después de la Biología Molecular han dado paso a maneras distintas de actuar sobre los vegetales para obtener de ellos lo que necesitamos dando lugar a lo que llamamos la Biotecnología Vegetal moderna o la Biotecnología Vegetal propiamente dicha. Europa ha estado siempre en la vanguardia del desarrollo de las Biotecnologías pero en este momento es también el lugar donde los debates y conflictos sobre su uso se dan de forma más intensa.

Forma de mencionar este artículo: Puigdomènech, P. 2014, La Biotecnología Vegetal en el entorno europeo. AmbioCiencias, 12, 70-80. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

La sociedad humana tal como la conocemos actualmente no sería posible sin una acción de los humanos de modificación intensa y continuada sobre las plantas. En el proceso que denominamos domesticación, los humanos que vivían hace unos diez mil años aplicaron su inteligencia para identificar un conjunto de especies que pudieran ser cultivadas y de las que pudieran obtenerse productos para la alimentación y otros usos como vestido, construcción de alojamientos, vehículos o armas, o como fuente de energía para iluminación, cocción o calefacción. El número de especies domesticadas fue muy reducido y también lo fue el número de variedades que acabaron utilizándose en la agricultura. Esto acabó produciendo una concentración de la actividad agrícola en pocas plantas. La FAO (Food and Agriculture Organization) de Naciones Unidas calcula que nuestras actividades agrícolas están basadas en algo más de un centenar de plantas frente al medio millón de especies cultivadas que existen en nuestro planeta.

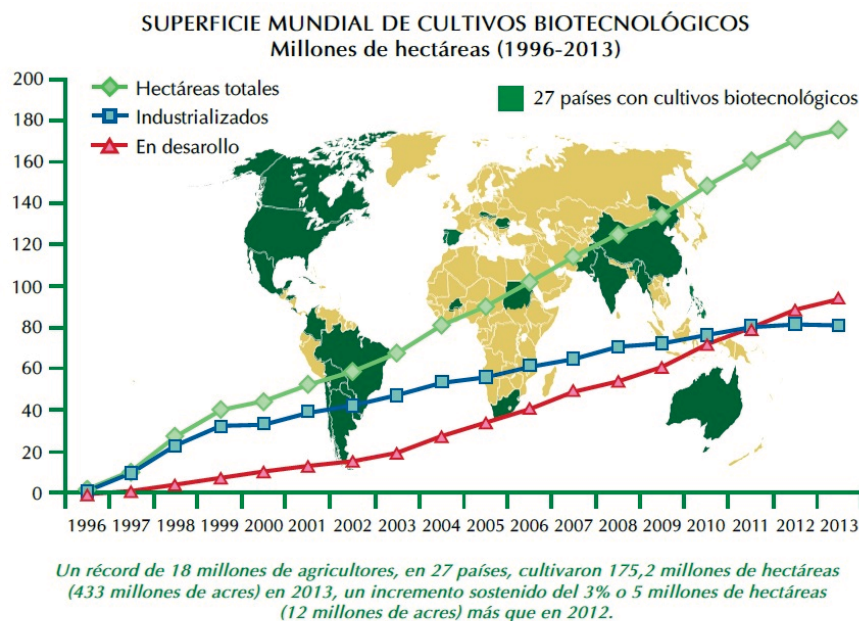
Las variedades que se cultivan son aquellas que contienen variantes genéticas que permiten un mejor cultivo, por ejemplo, que no se dispersan tras madurar o que producen un fruto de mayores dimensiones. El hecho es que la domesticación de plantas fue un proceso en el que se acumularon variantes genéticas en un pequeño número de especies vegetales que dieron lugar a los cultivos que conocemos. Estos se fueron expandiendo por el planeta en un proceso que se aceleró durante los grandes descubrimientos del Renacimiento. La llegada de la Genética a principios del siglo XX proporcionó una nueva oportunidad al desarrollo de las mejores variedades posibles de plantas para su uso en agricultura. Gracias a la aplicación de la mejora de plantas y de técnicas agronómicas, abonos y fitosanitarios, el fantasma de la gran hambruna prevista por los malthusianos desde el siglo XVIII no llegó a producirse.

Es en este contexto en el que las técnicas del DNA recombinante, cuyo desarrollo sucedió en el último tercio del siglo XX, demuestran su utilidad para la mejora de las plantas, principalmente a través de la modificación genética. Precisamente el año pasado se celebró el 30 aniversario de las dos primeras publicaciones (Barton et al., 1983; Herrera-Estrella et al., 1983) sobre esta aplicación tan relevante, en Gante, ciudad en la que se llevaron a cabo algunos de los trabajos más importantes en esta dirección. La ocasión sirvió para recordar que Europa estuvo por delante, o al menos en primera línea, en el desarrollo de las tecnologías moleculares y en su aplicación a los sistemas vegetales.

### Aplicaciones de la Biotecnología Vegetal y su marco normativo

La primera planta modificada genéticamente (GMP) se cultivó con fines comerciales en 1994, once años después de que esta posibilidad fuera demostrada en el laboratorio. Durante este período se desarrollaron las tecnologías que hicieron posibles las aplicaciones de interés para la agricultura, se pusieron en el campo GMPs de algunas de las especies más cultivadas y, además, se pusieron en marcha los marcos regulatorios para la experimentación y comercialización de los organismos modificados genéticamente (GMOs). Desde aquel momento la superficie cultivada con GMPs no ha dejado de crecer y las regulaciones existentes han ido cambiando y han sido objeto de debate en la mayoría de los países.

Aquella primera GMP cultivada fue un tomate (Flavr Savr) cuyos frutos presentaban maduración retardada. Fue producido por Calgene, una compañía de California, y este tomate junto con otro parecido desarrollado por Astra Zeneca en Gran Bretaña estuvieron a la venta en Estados Unidos y Europa hasta 1998, cuando las campañas en contra de estos cultivos provocaron una bajada en las ventas que llevó a su retirada del mercado. Sin embargo, en el año 2013 la superficie cultivada con GMPs ha llegado a más de 175 millones de hectáreas (Clive, 2013), distribuidas principalmente en los grandes países agrícolas de América (Estados Unidos, Brasil, Argentina o Canadá), de África o de Asia (India y China) para algunos cultivos (**Fig. 1**).



**Figura 1.** Progresión mundial de la superficie cultivada con GMPs durante los últimos 17 años. Se muestra también un mapa en el que se destacan los 27 países con cultivos biotecnológicos. Tomado de Clive (2013).

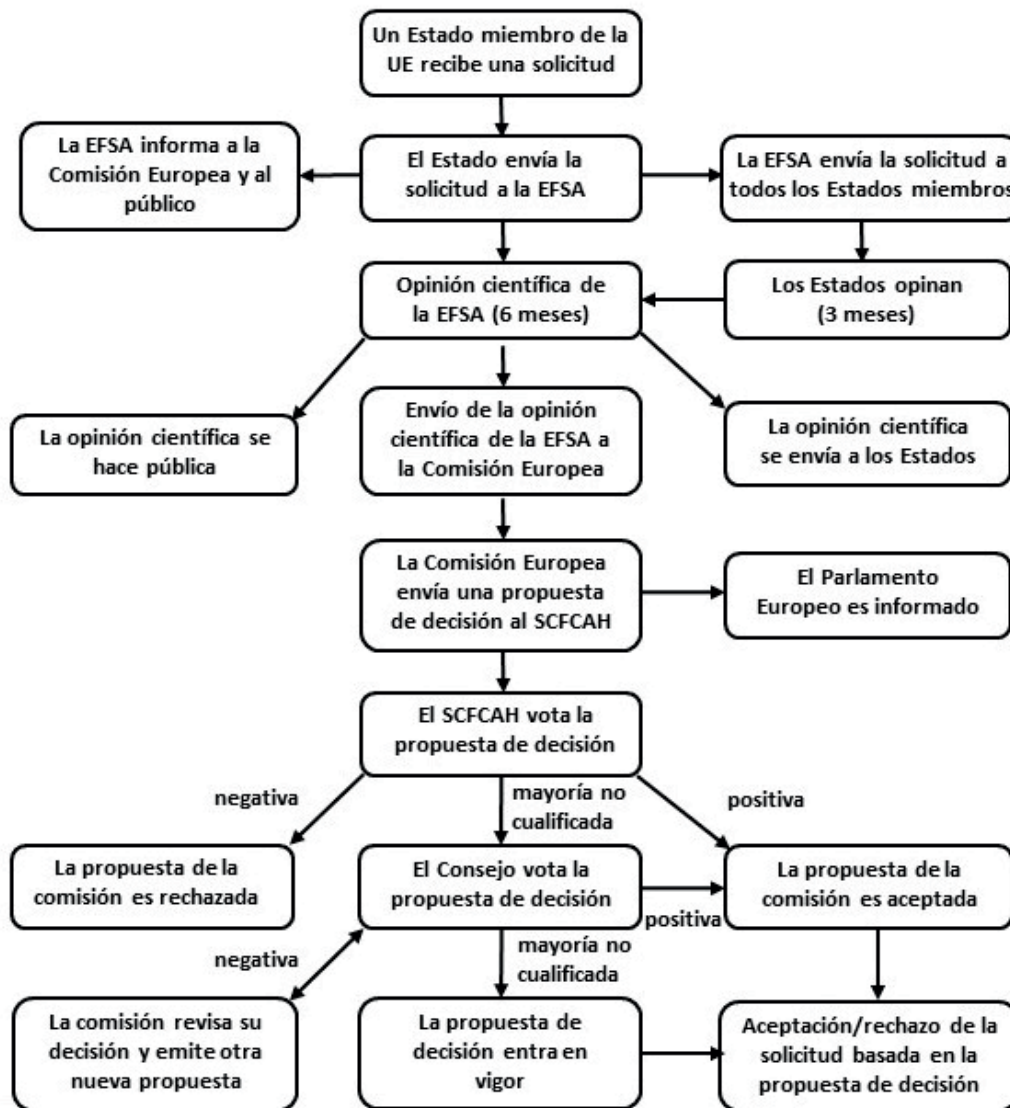
En Europa los cultivos de GMPs se restringen esencialmente a España y Portugal por diferentes razones. Éstas tienen que ver con el hecho de que la Península Ibérica no es autosuficiente en maíz, el cultivo modificado que se cultiva (maíz Bt), y por tanto los agricultores se enfrentan a la importación de grano americano y europeo con el que compiten. También, a diferencia de otros países europeos, en ciertas regiones como el Valle del Ebro o Cataluña se presentan invasiones de taladro, insecto contra el que no existe una resistencia conocida en el maíz y frente al cual, sin embargo, sí está protegido el maíz Bt como consecuencia de su modificación genética. Éstas y otras causas de tipo político o sociológico pueden explicar que en la Península Ibérica se cultive maíz modificado genéticamente de forma casi exclusiva en Europa.

El maíz Bt (evento MON810) ha sido el único que en Europa ha superado todos los requerimientos para la aprobación de una modificación genética para su cultivo y consumo. Desde el mismo momento en que en 1983 se publicó que sería posible obtener GMPs, se pusieron en marcha reflexiones en diferentes países para diseñar sistemas reguladores que aseguraran que estas plantas pudieran utilizarse sin producir problemas de salud humana o animal ni para el medio ambiente. En los Estados Unidos se dictó en 1986 el llamado “Marco Regulatorio para la Aplicación de la Biotecnología”, que preveía la implicación de la FDA (Food and Drug Administration), la EPA (Environment Protection Agency) y el USDA (United States Department of Agriculture) y que ha ido siguiendo el tema desde entonces. En Europa, un proceso similar dio lugar a la aprobación en 1990 de una Directiva, la 90/220 sobre liberación voluntaria de GMOs en el medio ambiente. Otros países como Canadá o Japón desarrollaron sistemas que tienen características específicas.

Desde aquel momento, el entorno legislativo ha cambiado en Europa de forma notable en diferentes aspectos. Se han aprobado dos nuevas directas, la 2001/18 que estuvo destinada a modificar la de 1990, y la Regulación 1829/2003 que legisla sobre los procedimientos para permitir la entrada de nuevos alimentos que contienen productos derivados de GMOs en el mercado europeo. Las dos son aplicables a las plantas modificadas genéticamente y tienen puntos en común aunque el procedimiento es distinto. Algo común es que se reconoce a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, la EFSA, y en particular en su Panel de GMOs, la función de análisis científico de las demandas de aprobación de una nueva modificación genética para su cultivo o su consumo en Europa. Ha habido también una Directiva, la 1830/2003, que regula el etiquetado de los productos que contienen derivados de GMPs y que entran en el mercado de alimentos para humanos o animales.

El Panel de GMOs de la EFSA (<http://www.efsa.europa.eu/en/panels/gmo.htm>) es una institución clave en el proceso de aprobación de una GMP en Europa. Está formado por unos 20 científicos escogidos por su experiencia profesional específica y analiza los diferentes aspectos que constituyen una demanda de aprobación de un evento de modificación genética en una planta, animal o microorganismo que se desee liberar al medio ambiente. El análisis incluye la modificación genética, la composición de los derivados alimentarios y sus efectos para el consumo y los efectos sobre el medio ambiente. Desde el inicio de su constitución el Panel ha trabajado en el marco de una guía orientativa para solicitantes que tiene en cuenta que el análisis debe ser caso por caso y que ha ido siendo modificada por los cambios normativos y la experiencia (European Food Safety Authority, 2013). El análisis está basado también en la comparación de los datos obtenidos con los de variedades no modificadas genéticamente. En conjunto los datos requeridos para una solicitud son muy complejos y costosos y se evalúan alrededor de los 10 o 15 millones de euros. Se ha dicho que el gasto requerido para la aprobación de una modificación genética puede llegar hasta los 100 millones de euros en el entorno europeo. Este coste es sin duda uno de los factores limitantes para el posible desarrollo de nuevas GMPs ya que el solicitante debe tener una potencia industrial suficiente para cubrir la inversión y las aplicaciones esperadas deben hacerse en cultivos con mercados lo suficientemente grandes para recuperar la inversión (**Fig. 2**).

Uno de los elementos clave en el proceso de aprobación de una GMP es que en algún momento del proceso los diferentes Estados Miembros de la Unión Europea pueden plantear preguntas u objeciones a una solicitud determinada (**Fig. 2**), lo que representa un trabajo adicional al Panel de GMOs de la EFSA. Por otra parte, la opinión científica de la EFSA no implica la aprobación de la modificación genética. El procedimiento implica que los países miembros deben votar la aprobación con mayoría cualificada que en general no se alcanza. En estas circunstancias es la Comisión Europea la que debe tomar una decisión. La experiencia reciente demuestra que la Comisión tiene dificultades para tomar este tipo de decisiones hasta el punto que la empresa Pioneer tuvo que recurrir al Tribunal Europeo de Justicia para forzarles a tomar una decisión sobre un maíz, el 1507 que había sido revisado en el Panel de la EFSA en el año 2005.



**Figura 2.** Representación esquemática del proceso de aprobación y autorización de un GMO en Europa (SCFCAH: Standing Committee on the Food and Animal Authority). Modificado del esquema que figura en la web de la AGES (Agencia Estatal Austriaca para la Salud y la Seguridad Alimentaria), [www.ages.at/ages/en/ages-austrian-agency-for-health-and-food-safety/](http://www.ages.at/ages/en/ages-austrian-agency-for-health-and-food-safety/)

La diferente percepción que tienen sobre las GMPs los diferentes países europeos ha sido una constante en los últimos años. Las situaciones son muy diferentes en cada uno de ellos. En algunos países, la agricultura tiene un peso económico muy bajo mientras que otros son potencias agrícolas importantes. En

algunos no se cultivan las principales especies para las que existen variedades modificadas o para las que los caracteres que se han introducido no tienen interés. El peso de las concepciones políticas y sociales de carácter ecologista es también diferente en los distintos países y sus historias en relación con fraudes alimentarios también. Por ello las posiciones políticas y sociales son muy diferentes. Por esta razón el Consejo Europeo ha aprobado recientemente un borrador de Directiva ([http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/en/envir/144116.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/envir/144116.pdf)) que modifica la anteriormente vigente y que permite a los países miembros prohibir el cultivo de GMPs por razones distintas de las puramente científicas.

### **Elementos para una reflexión de futuro**

El uso de lo que podemos llamar Biotecnología Vegetal en sentido amplio está en la base de la transformación de las plantas que hemos llevado a cabo para desarrollar lo que conocemos como agricultura. Estos desarrollos se aceleraron con la aplicación sistemática de la Genética y de la Biología Molecular que ha dado lugar a la Biotecnología Vegetal moderna con sus nuevas aplicaciones y sus debates intensos. En 2014 estos debates mantienen su intensidad sobretodo en Europa, lo no quiere decir que no haya conflictos en otros países. En Estados Unidos hay una fuerte batalla política en diferentes estados entorno al etiquetado de los alimentos que contienen GMOs, en África o la India la discusión sobre el tema sigue siendo activa, en Rusia se legisla en contra, en Brasil se apuesta a favor y en China hay una cierta vacilación.

La situación en Europa viene dictada por factores distintos que tienen un impacto diferente en los distintos países miembros. Se trata de factores económicos, sociológicos, económicos o incluso ideológicos. En la literatura científica van apareciendo estudios sobre los efectos de las modificaciones genéticas y de forma periódica aparece algún estudio que crea una cierta alarma. Analizar la importancia de los resultados es trabajo de las comisiones de bioseguridad de los diferentes países o del panel de GMOs de la EFSA. Sin embargo, el impacto de los costes regulatorios va a seguir siendo decisivo para el desarrollo de nuevas GMPs. Se ha propuesto que en algunos casos, como cuando se usan secuencias de la misma especie o de una especie cercana, lo que se ha llamado cisgénesis o intragénesis, podría ser necesario un menor número de datos para su aprobación. Lo mismo se ha dicho en el caso de que se usen metodologías que permiten una modificación genética de forma más dirigida. Todo ello implicaría un coste inferior, pero la presión de algunos estados miembros puede hacer difícil que esto ocurra. En cualquier caso, la presión de los

grupos opositores a estas metodologías y la ejercida por algunos países miembros hace que el análisis científico, base de los sistemas regulatorios, se vuelva cada vez más complejo y que se aleje de criterios objetivos por la necesidad de responder a preguntas muy hipotéticas o carentes de toda base.

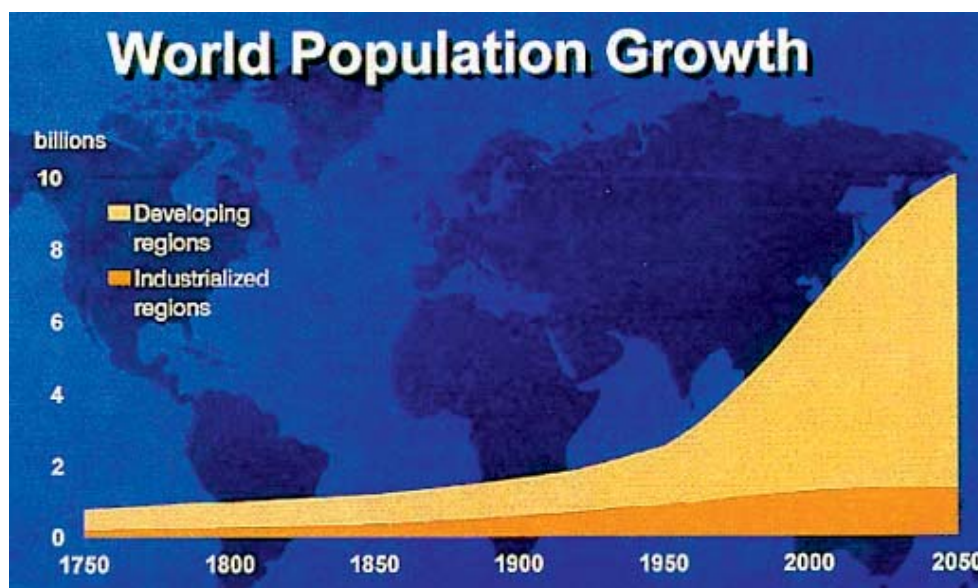
La realidad es que las compañías de semillas, incluso las europeas, están trasladando sus laboratorios de investigación a países como Estados Unidos, donde la investigación no tiene las barreras existentes en Europa, sobre todo para la experimentación en el campo. También algunas compañías han desistido en sus intentos por conseguir la aprobación del cultivo de sus semillas modificadas en Europa, mientras que sí la tienen para su importación para alimentación humana o animal. En este sentido, Europa sigue importando millones de toneladas de grano de GMPs cuyo etiquetado no plantea problemas insolubles, sobre todo para piensos y usos industriales, y que además necesita, como es el caso de la soja en la alimentación de animales de granja por su alto aporte proteico. Junto a estos temas se están planteando también otros ligados a los procedimientos de protección de la propiedad intelectual. En plantas ha existido desde mediados del siglo pasado un sistema de protección de las variedades agrícolas basadas en el convenio UPOV. Sin embargo, en los tiempos recientes algunas compañías han utilizado el sistema de protección mediante patentes tanto en genes como en plantas con características específicas que han creado una discusión intensa incluso en las mismas compañías de semillas.

Por otra parte, todo el interés que puedan tener las GMPs, que en un contexto global puede considerarse un éxito extraordinario, no hay que olvidar que la Biotecnología Vegetal ofrece unas perspectivas muy amplias. Cualquier aplicación nueva de la Mejora de Plantas requiere disponer de una variabilidad genética lo más amplia posible y de herramientas para aprovecharse de ella. Las técnicas moleculares están permitiendo las dos cosas de forma creciente. El espectacular incremento en el conocimiento de los genomas vegetales (Michael y Jackson, 2013) está permitiendo acumular una información sobre las bases genómicas de las plantas cultivadas en una cantidad enorme y de un interés que irá extrayéndose en los próximos años. Se desarrollan al mismo tiempo metodologías que permiten correlacionar estos datos con datos de análisis masivo de metabolismo o fenotipado y metodologías para la identificación de caracteres genéticos complejos. Con estos datos se han desarrollado aproximaciones de mejora asistida por marcadores moleculares cada vez más precisos y por selección genómica. Ésta se está ya usando en la mejora animal y puede ir desarrollándose también en plantas. Si juntamos las aproximaciones de secuenciación masiva de conjuntos de variedades de plantas con la creación de



nueva variabilidad por ejemplo por mutagénesis al azar o dirigida, tenemos un conjunto de perspectivas que evitan el uso de las técnicas de modificación genética con sus polémicas y sus costes. Es probable que estas alternativas sean las más empleadas para cultivos como los hortícolas o frutícolas en los que no tiene sentido hacer las inversiones que sí son factibles en los grandes cultivos.

El conjunto de metodologías que dan lugar a la moderna Biotecnología Vegetal ya está respondiendo a la demanda de innovación de sector agroalimentario. Lo está haciendo utilizando aproximaciones de modificación genética, que probablemente seguirán siendo importantes para los grandes cultivos, y las basadas en genómica y marcadores moleculares, que irán siendo utilizadas en la mayoría de cultivos. Con ello las nuevas aproximaciones moleculares ayudarán a responder a los retos que se presentan en el próximo futuro. La demanda de alimentos para una población creciente (**Fig. 3**) y con una demanda cualitativamente más exigente, el cambio climático y la necesidad de desarrollar una agricultura lo menos agresiva posible con el medio ambiente implican la necesidad de aplicar cualquier aproximación eficaz para responder a estos retos. Las distintas aproximaciones de la Biotecnología Vegetal estarán sin duda presentes en las respuestas que deben y vayan a darse.



**Figura 3.** Evolución real y estimada de la población mundial. Gráfico basado en datos recogidos por la División de Población del departamento de Economía y Asuntos Sociales de Naciones Unidas (<http://www.un.org/en/development/desa/population/>) y la Oficina sobre Población (<http://www.prb.org/>) así como en estimaciones realizadas por ambos organismos. Imagen tomada de [http://www.coolgeography.co.uk/GCSE/Year%2010/Human%20World/Population%20Growth/Population\\_change.htm](http://www.coolgeography.co.uk/GCSE/Year%2010/Human%20World/Population%20Growth/Population_change.htm)

Todas estas cuestiones han sido objeto de reflexiones a diferentes niveles en los últimos años. Algunas instituciones, como la Royal Society de Londres (2009), el Comité Asesor de las Academias de Ciencias Europeas (EASAC) (2013) o el Grupo Europeo de Ética de las Ciencias y las Nuevas Tecnologías (2008), han formulado reflexiones sobre las condiciones en que se puede utilizar el conjunto de tecnologías que se derivan del enorme progreso en el conocimiento que estamos adquiriendo sobre los procesos biológicos, en particular de los que tienen relación con las especies vegetales y animales en las que basamos nuestra alimentación. El debate va a continuar estando presente por razones económicas o ideológicas entre otras. La función del científico es estar presente en ellos y proporcionar a los ciudadanos y a quienes los representan los datos y los análisis que pueden permitir a todos tomar las decisiones que definirán la agricultura del próximo futuro.

### **Bibliografía**

- Barton, K.A., Binns, A.N., Matzke, A.J., Chilton, M.D. 1983. Reiteration of intact tobacco plants containing full length copies of genetically engineered T-DNA, and transmission of T-DNA to R1 progeny. *Cell* 32:1033-43.
- Clive, J. 2013. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2013. International Service for the Acquisition of Agro-Biotech Applications (ISAAA). <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/46/executivesummary/pdf/Brief%2046%20-%20Executive%20Summary%20-%20English.pdf>
- European Academies Science Advisory Council 2013. Planting the future: opportunities and challenges for using crop genetic improvement technologies for sustainable agriculture. [http://www.easac.eu/fileadmin/Reports/Planting\\_the\\_Future/EASAC\\_Planting\\_the\\_Future\\_FULL\\_REPORT.pdf](http://www.easac.eu/fileadmin/Reports/Planting_the_Future/EASAC_Planting_the_Future_FULL_REPORT.pdf)
- European Food Safety Authority 2013. EFSA guidance on the submission of applications for authorisation of genetically modified plants under regulation (EC) No 1829/2003. *EFSA Journal* 11(12): 3491, doi:10.2903/j.efsa.2013.3491. [www.efsa.europa.eu/efsajournal](http://www.efsa.europa.eu/efsajournal)
- European Group of Ethics of Sciences and New Technologies 2008. Ethics of modern technologies in agriculture. [http://ec.europa.eu/bepa/european-group-ethics/docs/publications/opinion24\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/bepa/european-group-ethics/docs/publications/opinion24_en.pdf)
- Herrera-Estrella, L., Depicker, A., Van Montagu, M., Schell, J. 1983. Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector. *Nature* 303: 209-213.

Michael, T.P., Jackson, S. 2013. The First 50 Plant genomes. *The plant genome*. 6:1-7

Royal Society 2009. Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf)



Pere Puigdomènech es Profesor de Investigación del CSIC en el Centro de Investigación en Agrigenómica (CRAG) CSIC-IRTA-UAB-UB. Licenciado en Ciencias Físicas (UB, 1970). Doctor en Ciencias Biológicas (UAB, 1975). Trabajó en el CNRS, Montpellier; Portsmouth Polytechnic, Gran Bretaña; Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik, Berlín; y fue Profesor del Departamento de Bioquímica de la UAB (1977-79). El año 2013 ha efectuado una estancia de sabático a la Universidad de Cambridge donde ha sido Visiting Fellow del Trinity College. Trabaja en Biología Molecular de Plantas, ha publicado más de 180 artículos científicos en revistas y libros internacionales y más de 500 artículos de divulgación en periódicos y revistas. Es miembro de

EMBO, del Institut d'Estudis Catalans, de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, de la Academia Europea y miembro extranjero de la Académie d'Agriculture de France y de la Academia de Ciencias de Hungría. Es miembro del Grupo Europeo de Ética de las Ciencias y las Nuevas Tecnologías de la Comisión Europea y ha sido Presidente del Comité de Ética del CSIC y miembro del Panel de Organismos Modificados Genéticamente de la EFSA. Ha tenido la Medalla Narcís Monturiol de la Generalitat de Catalunya, el premio de la Fundación Catalana de la Investigación, el Vicent Andrés y Estellés de Novela Científica, el de Amigos de la UAB y el COSCE por sus actividades de divulgación.