



Acta Agronómica

ISSN: 0120-2812

actaagronomica@palmira.unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Martínez-Gómez, Pedro

Predicción científica y prescripción en mejora genética vegetal en cuanto ciencia aplicada
de diseño: El caso de la mejora de frutales del género *Prunus*

Acta Agronómica, vol. 66, núm. 1, 2017, pp. 115-127

Universidad Nacional de Colombia

Palmira, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169949139018>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Predicción científica y prescripción en mejora genética vegetal en cuanto ciencia aplicada de diseño: El caso de la mejora de frutales del género *Prunus*

Scientific prediction and prescription in plant genetic improvement as an applied science of design: The case of *Prunus* breeding

Pedro Martínez-Gómez

CSIC - Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), Departamento de Mejoramiento Genético, Murcia, España. Universidad de Salamanca, Instituto de Estudios de la Ciencia y Tecnología. Salamanca, España. Autor para correspondencia: pmartinez@cebas.csic.es

Rec.: 05.08.2015 Acep.: 30.10.2015

Resumen

La mejora genética vegetal tiene una doble índole científica: Ciencia empírica de la naturaleza y ciencia aplicada de diseño. En este contexto el presente trabajo pretende indagar en la predicción científica como rasgo esencial de esta disciplina en cuanto ciencia aplicada de diseño con especial referencia la mejora de frutales del género *Prunus* (también denominados frutales de hueso). En mejora genética vegetal podemos hablar de tres niveles de conocimiento asociados a la biología molecular (nivel micro), la constitución genética de un individuo (nivel meso) y al fenotipo o aspecto global de la nueva variedad (nivel macro), que afectan tanto a los tipos de predicción como a las metodologías a aplicar. La predicción constituye el objetivo principal de la mejora genética como ciencia de diseño. Es clave tener un conocimiento del futuro posible para poder hacer un nuevo diseño que estará completo al cabo de algunos años, más de 12 años en el caso de los frutales de hueso. Asimismo, es necesario tener en cuenta en el desarrollo de esta predicción científica aplicada a la mejora de *Prunus* diversas variables internas (la naturaleza genética del material vegetal de partida, las metodologías disponibles, etc.) y externas (la aceptación social, los factores medioambientales, los estreses bióticos y abióticos, etc.) a la hora de llevar a cabo esta predicción. El grado de conocimiento de estas variables determinará la calidad de la predicción para el diseño de nuevas variedades de *Prunus*.

Palabras clave: Mejora genética, *Prunus*, ciencia, diseño, predicción, prescripción.

Abstract

Plant genetic improvement has a double scientific nature: it is both an empirical science of nature and an applied science of design. In this context, this paper provides an investigation of scientific prediction as an essential feature of plant genetic improvement as an applied science of design with special emphasis in the improvement of stone fruits (*Prunus* genus). In considering plant genetic improvement, we can speak of three levels of knowledge. These levels are associated with molecular biology (micro level); the genetic constitution of an individual (meso level); and the phenotype and overall appearance of the new release (macro level). These levels of reality affect both the type of prediction and the methodology applied. The prediction is the main objective of the plant genetic improvement as science of design. It is very important to have a knowledge of possible future to make a new design that will be complete within a few years, more than 12 years in the case of stone fruit that is the subject of this work. Finally, in developing a scientific prediction applied to *Prunus* breeding it is necessary to consider different internal (the genetic nature of the starting plant material, the available methodologies, etc.) and external (social acceptance, environmental factors, biotic and abiotic stresses, etc.) variables. The degree of knowledge of these variables determines the quality of the prediction in the design of the new *Prunus* varieties.

Key words: Plant Breeding, *Prunus*, science, prediction, prescription.

Introducción

De acuerdo al tipo de conocimiento aportado, podemos clasificar a las ciencias como ciencia básica (tiene como cometido ampliar conocimiento científico de lo real) o ciencia aplicada (la investigación se orienta hacia la solución de problemas concretos) (Niiniluoto, 1993). Siguen esquemas metodológicos diferentes, puesto que, en el primer caso, la tarea se hace explicando y prediciendo la realidad, mientras que, en el segundo caso, se realiza prediciendo y prescribiendo. Así, cuando se trata de la ciencia aplicada, el *modus operandi* —orientado a resolver problemas concretos planteados— se articula en objetivos, procesos y resultados (González, 2002; 2007).

Por otro lado, se puede hablar de ciencias formales (no se ocupan de hechos y no tienen por tanto un contenido factual) y empíricas, se ocupan de hechos. Dentro de las ciencias empíricas figuran habitualmente las ciencias de la naturaleza y las ciencias sociales. Pero se habla de un nuevo tipo de ciencia empírica más reciente: las ciencias de lo artificial (Simon, 1996). Es el dominio de lo “hecho por humanos” (*human made*) (González, 2008). Esto supone que hay unos objetivos fijados y unos procesos específicos para resolver un problema concreto. El diseño a partir de la creatividad humana guía el proceso de obtención de unos objetivos o metas. En este grupo de disciplinas existe un tipo específico de ciencias, denominado “ciencias de diseño”. Son ciencias aplicadas —están asociadas a objetivos, procesos y resultados— y su finalidad es la obtención de ciertos resultados a partir de un diseño. Ejemplos importantes de esta rama de ciencias de lo artificial y de diseño los tenemos dentro de la investigación en economía, farmacología y *computer sciences* (González, 2012a; 2013a).

La mejora genética vegetal es una ciencia aplicada. Requiere un soporte empírico, basado en la observación y experimentación y está encaminada a la resolución de problemas concretos (González, 2005; 2010a), por ejemplo en el caso de árboles frutales productividad, resistencia a estreses bióticos y abióticos, calidad del fruto, etc. (Martínez-Gómez *et al.*, 2003a). También tiene un componente de ciencia de la naturaleza, en la medida en que se apoya en las ciencias de la vida, en particular, en la genética. Cabe considerar entonces a la investigación de la mejora genética como una ciencia empírica aplicada. Al mismo tiempo, es una ciencia de lo artificial. Lo es por sus objetivos, procesos y resultados, puesto que surge de un diseño que da lugar a todo lo demás. Así, la mejora genética vegetal sirve de base para la biotecnología (Buiatti, 2012). Porque, al mismo tiempo que es una ciencia cada vez más relacionada con potenciar las posibilidades humanas —que es un rasgo de las ciencias de dise-

ño dentro de la ciencia de lo artificial—, está estrechamente relacionada con la obtención de nuevas patentes y proporciona conocimiento científico que sirve de base para la Industria agrícola (Jasanoff, 2006; Cuevas-Badallo *et al.*, 2011).

En primer lugar, la mejora genética aparece como ciencia aplicada, puesto que, dentro del terreno empírico, está encaminada a la resolución de problemas concretos como productividad, resistencia a estreses bióticos y abióticos o calidad del fruto. En segundo término, es una ciencia de diseño, en cuanto que concibe modelos para atender a objetivos que amplían las posibilidades humanas. Esto requiere unos procesos que dan lugar a unos resultados. De hecho, las ciencias de diseño constituyen saberes aplicados, pues los modelos que proponen tienen esa dimensión práctica: buscan solventar las cuestiones concretas (a corto, medio o largo plazo) (González, 2005, 2010a).

La mejora genética también tiene un nexo con la tecnología, puesto que puede dar lugar a una innovación, un logro realizado mediante de la transformación creativa de lo real. Esto lleva, por ejemplo, a la creación de una nueva variedad vegetal, que es una transformación buscada, que se diferencia claramente de un descubrimiento. Esa innovación —o “invento”— se da como resultado de materiales y procesos que no existen en la Naturaleza: requieren la intervención del agente humano (p. ej., con las nuevas variedades de frutales). Así, mientras que un descubrimiento no es patentable, un invento sí lo es. Porque el descubrimiento conduce al aumento de conocimiento sobre la naturaleza y sus dinámicas, pero sin realizar la transformación creativa de lo real: lo cambia, por sí mismo, a lo descubierto (Buiatti, 2012).

En este contexto, la mejora genética es una disciplina científica que contribuye al conocimiento necesario para una “tecnología”, que utiliza ese conocimiento para lograr la producción final de nuevas variedades vegetales. Este cometido tecnológico lo logra mediante el oportuno quehacer operativo que cambia lo existente. Este concepto de *tecnología* difiere del de *ciencia*, porque el conocer científico no busca modificar lo real. Son dos tareas diferentes la actividad científica y el quehacer tecnológico, aunque tienen conexiones en común. De hecho, el conocimiento científico y el tecnológico interactúan (González, 2005). Por eso, mediante la mejora genética vegetal —como una ciencia dual: Ciencia de la naturaleza y ciencia de diseño— se puede propiciar la base para una “tecnología”, de modo que el conocimiento como ciencia aplicada permita lograr la transformación creativa de lo real y, de este modo, lleva a obtener un fin concreto (producto o artefacto) (Cuevas-Badallo, 2008; González, 2013a).

Complejidad de la mejora genética vegetal en cuanto ciencia aplicada de diseño

La índole científica de la mejora genética vegetal, con su vertiente como ciencia de la naturaleza y su faceta de ciencia de diseño, plantea la cuestión de su doble complejidad. Esto comporta atender a una realidad a investigar y el modo de conocer esa realidad, que a su vez puede verse en términos de estructura o bien en su devenir a través del tiempo (su dinámica). Si la atención se centra en los diseños, parece claro que surgen de una combinación de elementos diversos. Así, al diseñar hay dos aspectos iniciales: (i) una interacción entre sus partes dentro del conjunto –holismo– y (ii) una relación de jerarquía, en cuanto que se configura un cierto sistema con articulación interna. La índole misma artificial de lo diseñado incluye una novedad epistemológica propia de la creatividad, puesto que los diseños son productos que añaden algo nuevo a lo existente. Lo hacen mediante una acción humana que está encaminada a metas específicas (González, 2013b).

También hay una orientación de los diseños hacia fines que son progresivamente más sofisticados (por ejemplo, la solución de problemas concretos de índole práctica en el terreno económico comporta cada vez una mayor interdependencia, como sucede con la globalización). Esto supone un contexto sociocultural evolucionado. Existe una creciente dificultad para computar toda la información disponible para los nuevos diseños, dificultades que son mayores conforme el diseño es más ambicioso o cuando sucede que la conducta estudiada es caótica, etc. (González, 2013a). Además, es necesario tener en cuenta también la complejidad funcional de los “diseños” realizados.

Dentro del campo que nos ocupa, se pueden caracterizar como “bio-artefactos” los productos generados por el hombre al usar criterios del campo artificial. Porque, a través de diferentes mecanismos, se producen cambios significativos en ciertos rasgos de las especies vegetales, de modo que hay un antes y un después en la realidad considerada (Cuevas-Badallo, 2008). Para llegar a ese punto, hay que considerar también la existencia de una complejidad estructural y dinámica, que ha de abordar la mejora genética como ciencia de lo artificial.

A este respecto, haciendo una analogía con lo expuesto por Herbert Simon para la economía como ciencia de lo artificial (Simmon, 1996), tendríamos en la mejora genética un sistema organizado, descomponible en diferentes subsistemas. La estructura tiene una articulación interna, que trabaja con diseños orientados a objetivos, que requieren procesos para su desarrollo y dan lugar a resultados que han de ser evaluados. Es necesario seleccionar estos objetivos, procesos

y resultados. Asimismo, para realizar el diseño, junto al conocimiento propio de la ciencia, hay que acudir a conocimiento fuera de la ciencia (por ejemplo, prácticas que han dado resultado por ensayo y error, sin una base científica), además de datos de tipo social o económico. Esto hace que buena parte del conocimiento científico disponible no se utilice de hecho en el diseño (Cuevas-Badallo, 2005).

Pero, hay además una dinámica que es histórica, pues la resolución de problemas concretos –su carácter de ciencia aplicada– acontece dentro de un entorno que es históricamente cambiante (González, 2012b). En el caso de la mejora genética vegetal, en cuanto ciencia de diseño, comporta también una dinámica compleja, puesto que esta disciplina se desarrolla como un procedimiento teleológico abierto a muchas posibilidades, tanto en el presente como en el futuro. Esto lleva a una vertiente interna en la dinámica –los objetivos, procesos y resultados– y una dimensión externa (un entorno cambiante), que requiere atención (González, 2012c). De hecho, la variabilidad de su actividad se puede caracterizar en términos de historicidad.

Ambos tipos de complejidad se dan en la economía en cuanto ciencia (González, 2001). Consta, en efecto, de una compleja articulación estructural (semántica, lógica, epistemológica, metodológica, ontológica, axiológica y ética), encaminada a explicar y predecir fenómenos. Posee asimismo una dinámica compleja, que ha de resolver problemas específicos dentro de un medio social que es cambiante. En este sentido, en cuanto ciencia aplicada, combina predicción y prescripción. Tanto Rescher, desde el punto de vista de la ciencia en general, como Simon –en su perspectiva de las ciencias de lo artificial– han prestado más atención a la complejidad estructural que a la dinámica en su análisis de la economía como ciencia de lo Artificial (Simmon, 1996; Rescher, 1998).

La mejora genética de frutales del género *Prunus*

Los frutales pertenecientes al género *Prunus* (llamados frutales de hueso) producen unos frutos llamados drupas con un gran valor comercial incluyendo también el aprovechamiento de las semillas en algunas especies (Infante *et al.*, 2011). El origen de estos frutales del género *Prunus* se localiza en las zonas centrales (el área del Cáucaso) y orientales (China) de Asia. Su expansión hacia próximo Oriente y el Mediterráneo fue en paralelo con las rutas comerciales y los procesos históricos que pusieron en contacto al Imperio Persa con Europa como tuvo lugar en el siglo IV A.C. Con los ejércitos de Alejandro Magno. Esta primera llegada a Europa se produciría a través de Armenia o Irán hasta llegar a Grecia e Italia. En una posterior expansión en la segunda mitad del siglo VII desde Oriente Próximo, llegan las

especies también a través del Mediterráneo Sur hasta España mediante los árabes. Finalmente la expansión de estos frutales hacia Norte América, México y Sudáfrica se produciría desde Europa (fundamentalmente desde España) entre los siglos XVI y XVII. Es hasta el siglo XVIII que llegan estos frutales a Australia (Figura 2).

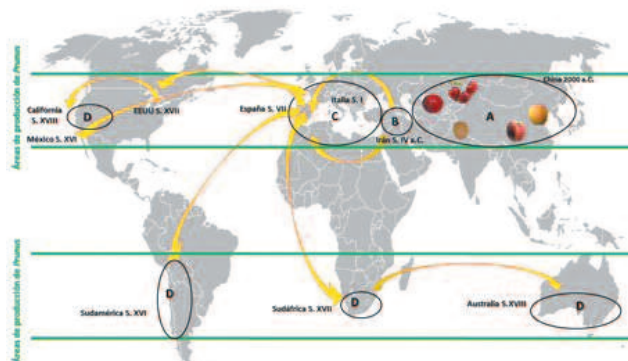


Figura 2. Centros de origen (A), diversificación (C y D) y dispersión (D) de los principales frutales del género *Prunus* cultivados.

Actualmente, este género está extendido por todo el mundo con una superficie total en torno a los 32 millones de ha. La producción mundial de estos frutales de hueso en 2013 rondó los 43 millones de toneladas (Mt) destacando la producción de melocotonero y nectarina [*P. persica* (L.) Batsch] de 21,63 Mt; ciruelo europeo (*P. domestica* L.), ciruelo japonés (*P. salicina* Lindl), endrino (*P. spinosa* L.) y ciruelo rojo (*P. cerasifera* Ehrh.) de 11,52 Mt; albaricoquero (*P. armeniaca* L.) de 4,11 Mt; cerezo dulce (*P. avium* L.), gindo (*P. cerasus* L.) y cerezo mongol (*P. fruticosa* Pall.) de 2,22 Mt; y almendro [*P. amygdalus* (Batsch) syn. *P. dulcis* (Miller) Webb] de 2,91 Mt (<http://faostat.fao.org>) (Figura 1).

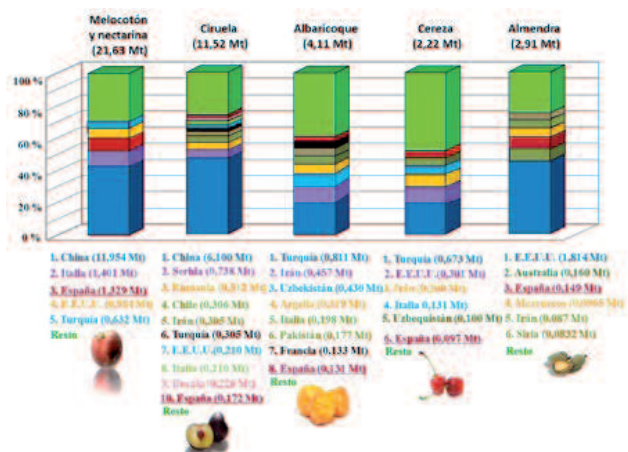


Figura 1. Producción mundial de frutales de hueso (*Prunus*).

Fuente: <http://faostat.fao.org>.

La hibridación y realización de cruzamientos en plantas eran una práctica de interés aplicado exclusivamente dentro de la genética que fue

desarrollándose a lo largo de los años desde el S. XIX. Los seleccionadores de plantas observaban que los caracteres a mejorar eran sobre todo los relativos a la cantidad (producción, rendimiento, tamaño del grano, etc.). Los que habían intentado comprender cómo funcionaban los mecanismos de herencia o mejora eran más los estadísticos que los biólogos (Wood & Vitezslav, 2005). Estas técnicas de mejora basadas en los cruzamientos se mantienen todavía hoy en lo que son programas de mejora de plantas para la agricultura. Las prácticas tradicionales de la mejora genética de plantas no dejan de ser unas prácticas en las cuales los límites de la naturaleza se respetan trabajando con genes que existen ya en las diferentes especies vegetales.

Tomando como ejemplo la mejora genética de frutales de hueso, los caracteres más importantes en un programa de mejora son (Martínez-Gómez, 1998; Martínez-Gómez *et al.*, 2003a; Infante *et al.*, 2008; Gradziel & Martínez-Gómez, 2013):

Árbol: Autocompatibilidad floral, época de floración y maduración, productividad y resistencia a plagas y enfermedades.

Fruto: Tamaño, forma y calidad organoléptica del fruto.

Semilla: Tamaño, forma y sabor de la semilla, dureza de la cáscara y rendimiento al descascarado. Estos dos últimos caracteres son tenidos en cuenta únicamente en la especie almendro que es en la que se aprovecha la semilla de forma comercial.

La mejora genética de especies frutales, presenta también unas claras especificidades dentro de la mejora genética vegetal como su carácter leñoso plurianual, su largo periodo juvenil, o su multiplicación mediante injerto sobre un patrón (Martínez-Gómez *et al.*, 2003a; 2005) (Figura 3). Estas especificidades hacen que los procesos de mejora sean en general largos y tediosos. Por tanto es necesario poseer una información lo más rigurosa posible para el diseño de nuevas variedades.

El conocimiento predictivo del futuro y su incidencia en mejora genética vegetal en cuanto ciencia aplicada de diseño

Entre los temas más representativos de la metodología de la ciencia del siglo XX y comienzos del S. XXI figura la predicción. Corresponde a la indagación acerca del conocimiento del futuro o investigación de “hechos nuevos”. La predicción incide tanto en la ciencia básica —orientada a la ampliación del conocimiento— como en la ciencia aplicada, encaminada a la resolución de problemas (González, 2010b). La predicción científica puede entenderse como el objetivo

principal de la ciencia de la mejora genética tradicional en cuanto ciencia de diseño: es clave tener un conocimiento del futuro posible para poder hacer un nuevo diseño que estará completo al cabo de más de 12 años en el caso de los frutales de hueso (Martínez-Gómez *et al.*, 2005) (Figura 3).



Figura 3. Esquema de un programa de mejora genética de frutales basado en la realización de cruzamientos y selección. Algunas de las nuevas variedades de albaricoquero obtenidas en el CEBAS-CSIC de Murcia son mostradas observándose la gran variabilidad en los diseños obtenidos.

En Filosofía hay una corriente de índole “predictivista” en cuanto que resalta el papel científico de la predicción (bien sea como objetivo, como test o como guía para la acción práctica). Consta con partidarios desde hace mucho tiempo (Francis Bacon, August Comte, Hans Reichenbach, Karl Popper, Imre Lakatos, etc.). Para ellos, la predicción es lo más relevante para tener ciencia. Ciertamente, hay otros autores —como Stephen Toulmin— con una visión instrumental de la predicción, entendiéndola como una mera destreza o habilidad subordinada a la explicación (González, 2010b; 2013c). En general, la predicción es un concepto central de la ciencia de lo artificial, como describe Herbert Simon en su libro *The Sciences of Artificial* (Simon, 1996).

Desde el punto de vista metodológico, la predicción es central en ciencia aplicada, puesto que busca solucionar problemas concretos, para lo que requiere conocer el futuro posible. De ahí que la predicción tenga una componente práctica, paso previo a la aplicación de la ciencia en un contexto dado. En general, en la predicción se necesita una serie de *datos*. Estos datos pasan a ser *información* al analizarlos en un contexto dado, para finalmente pasar a ser *conocimiento*

que requiere la categorización de la información (González, 2015).

Las nuevas demandas de la mejora genética vegetal en cuanto a ciencia de diseño —que ha de potenciar las posibilidades humanas— exigen un mayor peso de la predicción científica dentro de esta ciencia. Tenemos que realizar una predicción de futuro en cuanto a la utilidad y la aceptación del nuevo diseño (la nueva variedad). La predicción científica en mejora genética vegetal debe entenderse como el objetivo principal de la ciencia como ciencia de diseño. El conocimiento predictivo del futuro nos ayudará también a evaluar el progreso de la actividad científica. La predicción consiste en anticipar algo antes de que se conozca o antes de que exista. Es algo muy atractivo desde el punto de vista científico, tanto en ciencias de la naturaleza como en ciencias sociales o ciencias de diseño. Se trata de una anticipación de los sucesos predictivos.

En el caso de la mejora genética vegetal como ciencia aplicada de diseño, la predicción es un *factor clave*. El éxito de la mejora genética vegetal está asociado al éxito en la predicción similar a lo que puede pasar en otras ciencias de diseño como la farmacología. Este conocimiento predictivo, en la mejora genética de frutales es de especial interés ya que, como hemos comentado, el “diseño” (la nueva variedad) que se pretende tarda alrededor de 12 años en desarrollarse (Martínez-Gómez *et al.*, 2003a) (Figura 3).

Niveles de conocimiento en mejora genética vegetal en cuanto ciencia aplicada de diseño

En ciencias empíricas, como la mejora genética vegetal, los procesos científicos pueden trabajar según distintos niveles de realidad (micro, meso o macro). Estos niveles de la realidad en mejora genética vegetal están asociados a la biología molecular (nivel micro), la constitución genética de un individuo (nivel meso) y al fenotipo o aspecto global del individuo o nueva variedad (nivel macro).

Nivel macro: Desde hace más de diez mil años, los seres humanos han visto que es posible seleccionar especies de plantas, para facilitar su cultivo en pro de la producción de alimentos, lo que sería la agricultura. Este proceso de adaptación y selección se denomina *domesticación*. Comporta una serie de prácticas denominadas “selección y mejoramiento genético de plantas” en lo que sería la pre-teoría genética. En el Siglo I a.C., el escritor hispano-latino Columela escribía en su obra *De rustica* “si la cosecha es excepcional, las semillas de grano deben moverse en un recipiente y las que van al fondo deben utilizarse para la reproducción” (Buiatti, 2012). Los seleccionadores de plantas

observaban que los caracteres a mejorar eran sobre todo los relativos a incrementar la cosecha. Mejorar significaba ir “hacia más” en la mejora global de un organismo completo, como por ejemplo una planta (Hayward *et al.*, 1993). Este nivel macro de conocimiento es todavía hoy el nivel en el que se desenvuelve la mejora genética vegetal incluida la mejora de *Prunus* al evaluar plantas completas. La evaluación de las plantas en sentido global incluyendo árbol y fruto es el criterio final de selección de una nueva variedad (Martínez-Gómez, 2013a, Infante *et al.*, 2008; Gradziel & Martínez-Gómez, 2013).

Nivel meso: A partir de la publicación de los trabajos de Gregor Mendel en 1866, se adoptaron sin embargo métodos más científicos para explicar la transmisión de estos caracteres aplicados a la mejora genética vegetal. Autores como Hugo de Vries en Holanda, Carl Franz Correns en Alemania y Enrich von Tschermak en Austria fueron los que redescubrieron las Leyes de Mendel y encontraron las primeras excepciones a la dominancia completa descrita por Mendel en 1886 (Mendel, 1886). Estos autores realmente fueron los que dieron a conocer las leyes de herencia Mendel al mundo entero y lo que todavía hoy se considera la constitución genética de un individuo (Artola & Sánchez-Ron, 2012). En este nivel genético estaríamos hablando de un nivel intermedio entre el organismo completo (macro) y su ADN (nivel micro). En el caso de los frutales del género *Prunus* existe un buen conocimiento acerca de la transmisión y herencia de muchos caracteres de interés agronómico con los que se trabaja en los programas de mejora genética (Sánchez-Pérez *et al.*, 2007; Campoy *et al.*, 2011a; Salazar *et al.*, 2013; 2014). Este conocimiento sirve para su aplicación directa en estos programas en términos de elección de genitores y de tipo de cruzamientos (Martínez-Gómez *et al.*, 2003a; Sorkheh *et al.*, 2010).

Nivel micro: El descubrimiento de la estructura del ADN (Watson & Crick, 1953), con la definición a nivel molecular de gen y el establecimiento de lo que se denomina el dogma central de la biología molecular (“la información genética puede ser transferida de ADN a ARN, y a partir de ARN a proteínas, incluyendo la replicación del ADN, transcripción de ARN y la traducción a proteína expresada en el fenotipo”) (Crick, 1970), se erigen como la contribución más importante a las ciencias Biológicas en el siglo XX (Watson, 2006). Estos nuevos descubrimientos sobre las moléculas implicadas en la herencia fueron también incorporados a las metodologías aplicadas en la mejora genética vegetal en lo que hoy se llama la era de la “genética molecular” (Solís & Selles, 2009). En estos momentos, en la era “post-genómica”, estamos ante una nueva

revolución científica de la mejora genética vegetal. Esta era “post-genómica” se caracteriza por tres elementos: a) la incorporación de nuevas técnicas de genotipado y fenotipado más potentes, b) la disponibilidad de secuencias de genomas completos de referencia para varias especies, y c) el cambio de perspectiva sobre la expresión de caracteres donde el centro de gravedad de estos procesos se pone en el estudio del RNA más que en el del DNA (Martínez-Gómez *et al.*, 2012). Cada una de estas etapas de desarrollo molecular lleva aparejada un desarrollo metodológico aplicable a la mejora genética vegetal como por ejemplo en la aplicación de marcadores moleculares en mejora (Martínez-Gómez *et al.*, 2012; Rubio *et al.*, 2014). En el caso de los *Prunus* la aplicación de estos marcadores estaríamos hablando de un análisis micro de los nuevos diseños o variedades (Ruiz *et al.*, 2011; Martínez-Gómez *et al.*, 2012). Este análisis se puede hacer a nivel de ADN (Salazar *et al.*, 2014) o de ARN (Martínez-Gómez *et al.*, 2011; Bianchi *et al.*, 2015).

Tipos de predicción en mejora genética vegetal en cuanto ciencia aplicada de diseño

Por otro lado, respecto a los tipos de predicción, la predicción cuantitativa es la que posee el mayor valor científico. Es el tipo de predicción con más “prestigio” desde el punto de vista científico, pero difícil de aplicar en el desarrollo de nuevos diseños, como es el caso de la mejora genética vegetal. La predicción cuantitativa es el tipo de predicción más rigurosa y, en muchos casos, se basa en modelos matemáticos exactos (González, 2010b). En mejora genética vegetal este tipo de predicción es posible plantearla a niveles micro y, en menor medida, en el nivel meso. Este tipo de predicción cuantitativa se da en el análisis de la función del ADN y el ARN (nivel micro) o el análisis estadístico de la herencia de genes (nivel meso) (Martínez-Gómez *et al.*, 2012).

También cabe hablar de la predicción cualitativa, como un tipo de predicción explicativa de menos rigor o “prestigio” desde el punto de vista científico. La predicción cualitativa tiene un cometido destacado en el contraste metodológico de cualquier ciencia aplicada. En este tipo de predicción cualitativa, como es el caso de la mejora genética vegetal, la figura del experto es clave. Cabe también hablar de la tarea de la intuición, cuando algo se predice sin procesos mediados con un razonamiento discursivo que busca captar tendencias de fondo. Es el caso más frecuente en la predicción en mejora genética vegetal en cuanto ciencia de diseño. La predicción cualitativa tiene un cometido destacado en el contraste metodológico de cualquier ciencia aplicada. La expresión más notoria de este contraste ha sido la polémica metodológica entre “explicación” (*Erklären*) y

“comprensión” (*Verstehen*). A este nivel se sitúa también la polémica entre predicción (*prediction*) frente a la comprensión (*understanding*) (Rosemberg, 1985; 1992).

Tener predicciones cualitativas cuando hay después un interés prescriptivo es también de gran interés en mejora genética vegetal, sobre todo en su nivel macro, puesto que ayuda a concebir a un nuevo diseño. Se captan entonces ciertas tendencias en vez de leyes y es difícil poder detallar toda la información disponible para esas predicciones cualitativas. Cabe también hablar de la tarea de la intuición, cuando algo se predice sin procesos mediados, y de un razonamiento discursivo que busca captar tendencias de fondo. Es el caso de la predicción en mejora genética vegetal en cuanto ciencia de diseño que incluye una complejidad adicional en el diseño, que rebasa el campo propio de la Naturaleza.

Papel de la predicción para los objetivos del diseño: Necesidad de la predicción para la prescripción

Para poder prescribir como resolver los problemas planteados, hay que tener predicciones de las posibilidades de futuro. Pero la predicción se enfrenta a los límites de la ciencia. Así, los límites de la predicción pueden verse como límites de la ciencia en cuanto “barreras” (si es conocimiento predictivo o no predictivo) o el límite de la predicción como “techo” o linde final. Esto lleva también a discriminar si algo es no predecible en estos momentos (no disponemos ahora de modelos) o impredecible (no tenemos modelos ni los habrá nunca) (González, 2010).

Sucede que buena mayor parte de los estudios de la predicción necesaria para la prescripción se han realizado en el campo de la economía. Hay una línea fuerte de investigadores como Milton Friedman, que entienden la ciencia con la predicción como clave a nivel metodológico y resalta su uso como test científico de la disciplina (Friedman, 1974). Está después la línea débil, con investigadores como Herbert Simón, que alega que no es lo prioritario hacer predicciones en ciencia, le parece más importante comprender los procesos, sobre todo para la toma de decisiones (González, 1998a).

Esta prescripción está orientada a la toma de decisiones en los comienzos del proceso de la mejora genética vegetal para la obtención de nuevas variedades. Las claves son la elección de los genitores o parentales que deben ser utilizados. La base del diseño es la realización de cruzamientos y, por tanto, hay que elegir bien que variedades hay que cruzar para generar otras nuevas variedades. Estos cruzamientos pueden ser del tipo complementario, cuando cruzamos

dos variedades con características complementarias para obtener una nueva variedad que integre las buenas aptitudes de ambas variedades, o bien del tipo transgresivo, donde se cruzan dos variedades con buenas aptitudes para obtener otra aún mejor que ambas (Martínez-Gómez *et al.*, 2003a). Desde el punto de vista económico, la prescripción está encaminada a decidir el número de híbridos a mantener de cada cruzamiento. Este número está directamente relacionado con el coste en el proceso de evaluación de los híbridos.

Niveles de predicción y su fiabilidad en el caso de la mejora en genética vegetal

En cuanto a las orientaciones metodológicas en la predicción, cabe hablar de tres niveles metodológicos. Uno general, donde la metodología pudiera abarcar toda ciencia empírica (por ejemplo, mediante un universalismo metodológico), otro nivel más reducido, de índole especial y ámbito abarcante, para más de una ciencia, y un tercer nivel, ya especial y restringido, propio de una disciplina o ciencia, dentro de una diversidad metodológica. Estas orientaciones metodológicas también están asociadas al nivel de la realidad en mejora genética vegetal en el que estemos trabajando (González, 2005). Las metodologías más generales se encontrarían dentro del nivel de la biología molecular (nivel micro) y la constitución genética de un individuo (nivel meso). Sin embargo, en el nivel macro la metodología expuesta sería del tipo especial restringido, únicamente aplicable a la mejora genética vegetal en cuanto a ciencia de diseño (Martínez-Gómez *et al.*, 2005; González, 2015).

Respecto a los niveles de predicción, si se toma como referencia a la economía, en el caso de la predicción cuantitativa se plantean modelos exactos (Friedman, 1974). En este sentido, en el caso de modelos físicos habitualmente se analizan elementos mucho más sencillos que los modelos sociales, como los usados en ramas de la economía. En nuestro caso, en Biología hay una complejidad intermedia de los individuos genéticos, ubicable entre los entes físicos y las sociedades. La causalidad tiene en este caso una componente de probabilidad. El planteamiento tan fiable como el “determinista”, aun siendo muy atractivo es prácticamente imposible de llevar a cabo en mejora genética vegetal. Ya Reichenbach (1938), planteaba que no cabe garantizar una fiabilidad absoluta en las predicciones. La fiabilidad de la predicción viene dada por si tiene un componente causal. Esta aproximación es más realista en el caso de la mejora genética vegetal. Además, en nuestro caso el evento se da dentro del mundo de la Ciencia de Diseño, donde el factor humano puede también afectar (González, 2010b).

Por otro lado, el grado de conocimiento de las variables determina la calidad de la predicción. En este contexto, autores como González (2010b), han propuesto diferenciar entre tipos de predicciones a partir del grado de control de las variables. Así, los conceptos de previsión, predicción y pronóstico, junto al concepto de planeamiento o planificación, revelan nuevas posibilidades metodológicas. En el caso de la previsión se conocen las variables con certeza. Existe un máximo control de las variables. Se puede hacer una buena prescripción. En el caso de la predicción se controlan las variables con cierta fiabilidad. Hay variables que se pueden controlar y otras que no. Sin embargo, al hablar de pronóstico no existe un control de las variables, la predicción es menos fiable.

Tenemos variables aleatorias y es posible hacer un planteamiento con un margen de error ya asociado. También podemos hablar de planificación de fenómenos como objetivo de la predicción. Esta planificación puede ser a corto, medio y largo plazo, donde ya posee una menor exactitud. En el caso de planificación puede darse mucha más incertidumbre según el tipo de fenómeno estudiado. En la planificación debe haber conocimiento y decisión, además de unas prioridades. A nivel micro o meso puede haber una gran fiabilidad en la predicción a partir del análisis de un tipo de ADN o un genotipo (Martínez-Gómez *et al.*, 2012; Salazar *et al.*, 2014).

La evolución de la mejora genética vegetal: la historicidad en la predicción y su repercusión en planteamientos metodológicos

Con los métodos científicos se busca y valora el progreso de un modo ajeno a lo que son los idearios tradicionales, que en este caso valora más bien la ortodoxia y la fidelidad al origen. El cambio puede llevar al progreso y el análisis de ese cambio ha de contemplar la historicidad. Para investigadores como Lakatos (1978), si un sistema no progresa se degenera, de ahí el interés del progreso y la historicidad. En ciencia podemos pues distinguir la historia de lo acontecido (que se expresa en los datos) y la teoría (los esquemas formales que la explican u organizan) (Mosterin, 2013). Por tanto, el progreso parece claro en la historia de la mejora genética vegetal. Pero hay una historicidad en los contenidos de la biología, en general. (Mosterin, 2013), y la genética, en particular, que siguen una ruta propia, que corre en paralelo a la evolución misma de los fenómenos biológicos analizados.

Tanto la historicidad, en cuanto rasgo que acompaña a la dinámica de lo artificial respecto del futuro, como la predicción del futuro posible pueden ser muy útiles en mejora genética vegetal. Para reconocer la historicidad de las actuaciones

humanas en este caso, hay que acudir al estudio histórico de la evolución de la mejora genética como disciplina. Esto supone conocer los diseños y los métodos desarrollados anteriormente, para así poder comprender mejor el comportamiento de estos nuevos diseños en el futuro (González, 2011). Aun cuando no puede ser una mera proyección hacia el futuro, la perspectiva de atender a la trayectoria pasada ofrece una aproximación para poder hacer predicciones científicas en mejora genética vegetal. El papel de la novedad es aquí relevante: Cada año es necesario revisar los planteamientos del diseño en función de los nuevos datos disponibles. Influyen el éxito de otros diseños ya utilizados, el avance en el conocimiento de las bases genéticas y la disponibilidad de nuevas propuestas metodológicas.

Variables internas a tener en cuenta en la predicción en el caso de la mejora en genética de *Prunus*

Para elaborar buenos modelos predictivos, hace falta conocer las variables relevantes que inciden en el conocimiento del futuro posible en este ámbito. Así, es necesario examinar las variables endógenas o internas y las variables exógenas o externas que influyen en ese fenómeno. Ambas han de ser susceptibles de una valoración científica (Figura 4).



Figura 4. Variables internas y externas que afectan la viabilidad y establecimiento de un programa de mejora genética de *Prunus*.

En primer lugar, las variables internas a tener en cuenta en cualquier programa de mejora genética vegetal derivan de la diversidad genética de los caracteres de la planta. El conocimiento de estas variables: autocompatibilidad floral, época de floración y maduración, productividad y resistencia a plagas y enfermedades (Martínez-Gómez *et al.*, 2003a) o los del fruto (o semilla en el caso del almendro): Calidad organoléptica del fruto, tamaño del fruto y la semilla, forma del fruto y la semilla, sabor de la semilla, dureza de la cáscara y rendimiento al descascarado (Infante *et al.*, 2011).

El conocimiento de estas variables internas de tipo genético nos indicará su idoneidad respecto a los objetivos de diseño propuestos. Los frutales del género *Prunus* se caracterizan por la gran compatibilidad interespecífica (Martínez-Gómez *et al.*, 2003b). Esto significa que es relativamente sencillo realizar cruzamientos interespecíficos. En el contexto de reducida variabilidad genética de algunas especies como el melocotonero, la realización de cruzamientos interespecíficos es de gran utilidad para el desarrollo de nuevas variedades (Gradziel *et al.*, 2001; Martínez-Gómez *et al.*, 2004; Sorkheh *et al.*, 2009).

En segundo término, pueden ser variables internas las metodologías disponibles en cada momento para su uso en mejora sobre todo en selección de individuos. Estas metodologías están estrechamente relacionadas con el nivel de conocimiento disponible a nivel meso y micro, especialmente en lo relacionado con el desarrollo de marcadores moleculares para la selección de individuos (Martínez-Gómez *et al.*, 2012) y nos darán una idea de la eficacia y viabilidad de los nuevos diseños o variedades.

La eficacia y viabilidad del programa de mejora dependerá de estos desarrollos metodológicos dedicados a la evaluación. Tenemos pues que incluir diversos factores de tipo económico en un programa de mejora en cuanto hay una actividad humana, que está orientado hacia objetivos genético-vegetales que son viables (Cuevas Badallo *et al.*, 2011; Martínez-Gómez *et al.*, 2003a; 2005).

Los procesos a realizar han de tener un coste razonable, en cuanto al nivel de esfuerzo para la realización del diseño y a los medios a utilizar. El resultado es dar lugar a un nuevo bio-artefacto, lo que requiere el conocimiento científico y los procesos científicos (Cuevas-Badallo, 2008). Pero el impacto real para la sociedad viene con la Tecnología que propicia esa innovación mediante unos objetivos y un quehacer, que originan el artefacto biológico que surge de transformar la propia realidad y hacer que tenga un precio en los mercados. Intervienen así una racionalidad científica, una racionalidad tecnológica y una racionalidad económica, que sirve como vía de conexión entre ambas. La mediación económica incide directamente en la actividad humana desplegada.

Estos dos términos (eficacia y viabilidad) van relacionados en el contexto económico en la relación entre la ciencia y la economía (Guston, 2000). La evaluación de esta factibilidad, eficacia y viabilidad puede llevar al abandono del nuevo diseño vegetal si no fuera factible o a su producción. Tendríamos que proceder al diseño de una nueva variedad con unos nuevos cruzamientos y unas nuevas variables a evaluar dentro del

programa. En cualquier caso, este proceso de evaluación es continuo.

Variables externas a tener en cuenta en la predicción en el caso de la mejora en genética de *Prunus*

Por otro lado, cabe considerar como variables externas en primer lugar las relacionadas con el entorno donde tiene lugar todo lo descrito. Así, si se trata de la mejora genética de frutales, hay una serie de variables externas a tener en cuenta: Las interacciones con el medioambiente [lo que se denominarían estrés bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (clima, suelo y agua)] son elementos que pueden influir en la correcta evaluación de los caracteres. Porque hay caracteres, como la época de floración o la compatibilidad floral, que han de ser evaluados como mínimo a los tres años, cuando el árbol produce sus primeras flores. Estos inconvenientes requieren del uso de métodos de selección asistida por marcadores moleculares. Estas condiciones medioambientales determinarán la factibilidad de los objetivos y de la nueva variedad en un ambiente determinado. La adaptación de los nuevos diseños o nuevas variedades a condiciones climáticas concretas, está condicionada fundamentalmente por sus necesidades de frío invernal para la salida del letargo (Campoy *et al.*, 2011b) y por su adaptación a diferentes condiciones de suelo en el caso de los portainjertos (Moreno *et al.*, 2008; Jiménez *et al.*, 2008; 2013). Su capacidad de fructificación depende en gran medida de este carácter y de su interacción con el medio ambiente considerado como variable externa.

Los frutales del género *Prunus* florecen como respuesta a una pauta establecida de bajas (necesidades de frío) y altas (necesidades de calor) temperaturas después de la ruptura del letargo invernal (Egea *et al.*, 2003; Sánchez-Pérez *et al.*, 2012). Estas necesidades de frío y calor garantizan que en cada zona la floración tendrá lugar en un momento favorable para la polinización. Esta polinización será viable en un contexto de autocompatibilidad floral (se produce fecundación del óvulo por parte del polen de la misma variedad) (Gradziel *et al.*, 2002), mientras que en un contexto de autoincompatibilidad floral esta floración requerirá polen de otra variedad y una variedad aislada no producirá (Martínez-Gómez *et al.*, 2003c; Sánchez-Pérez *et al.*, 2004). Por tanto se buscan variedades de floración tardía que eviten las heladas pero que sean autocompatibles en el caso del almendro (Sánchez-Pérez *et al.*, 2014). En otros frutales como melocotonero o albaricoquero donde la floración no es tan temprana lo que se busca es la precocidad en la floración y

la fructificación para conseguir mejores precios de mercado (Infante *et al.*, 2008).

El conocimiento de estas variables externas relacionadas con los posibles estreses nos indicará su factibilidad respecto a los objetivos de diseño propuestos. La factibilidad de los desarrollos es otra de las cuestiones importantes a tener en cuenta. Esta factibilidad está basada en variables dentro del contexto tecnológico de cada tecnología (Quintanilla, 1997). La factibilidad tecnológica dependerá además de la existencia de germoplasma con los genes deseados para la resistencia a los diferentes estreses bióticos o abióticos (Moreno *et al.*, 2008). En estos momentos por ejemplo en el caso de los *Prunus* la principal enfermedad de origen viral que representa el mayor estrés biótico es la sharka causada por el *Plum pox virus* y que está extendida por todo el mundo (Martínez-Gómez *et al.*, 1997; 2000). Se estima que el coste que ha llevado asociado esta enfermedad en todo el mundo, durante los últimos 30 años, supera los 10.000 millones de euros (Cambra *et al.*, 2006), dando una idea de su importancia. Las nuevas variedades de frutales deben llevar incorporada esta resistencia (Dicenta *et al.*, 1996; Egea *et al.*, 1999). Otra de las enfermedades de tipo fúngico a tener en cuenta en el diseño de nuevas variedades de frutales como es el caso de melocotonero es la Monilia (*Monilia laxa*) con una gran importancia en los procesos de postcosecha (Giménez *et al.*, 2013).

También son variables externas satisfacer la demanda de los consumidores en términos de estacionalidad en esta demanda y de la calidad del fruto desde el punto de vista del consumidor (Infante *et al.*, 2008; 2011). Además la aceptación social de estas nuevas variedades dependerá de criterios de sostenibilidad medioambiental. Por otro lado, podemos incluir diversos factores de tipo económico, siempre que se contemplen dentro del marco mismo de producción: la fase de objetivos, procesos y resultados. Esto repercute en variables económicas externas, que son las que atañen a su valor de mercado. Porque el resultado de una nueva variedad genética tiene una durabilidad (un ciclo de vida) y comporta un precio de mercado, que condiciona la transformación creativa que realiza la innovación tecnológica.

El grado de conocimiento de las variables determina la calidad de la predicción en el diseño de nuevas variedades de *Prunus* además de su eficacia, viabilidad, idoneidad y factibilidad. Los nuevos diseños deben cumplir con las características adecuadas para satisfacer esos requisitos. También son variables externas la disponibilidad de las diferentes técnicas de análisis y selección disponibles en cada momento, pues han variado a lo largo de la historia. En este sentido tenemos que decir que la mejora genética de plantas se

define como “la aplicación de técnicas genéticas a la obtención de nuevas variedades vegetales que superen en productividad, calidad, resistencia, etc. a las ya existentes” (Sánchez-Monje, 1955; Hayward *et al.*, 1993).

La revisión de las predicciones como forma de autocorrección científica

Todas las variables internas y externas relevantes han de ser consideradas para la predicción, que a su vez ha de estar abierta a una revisión crítica cuando aparece nuevo conocimiento, cuando la actividad ha generado unos resultados o cuando los condicionantes sociales repercuten en cómo hacer la mejora genética vegetal. Tiene que haber una capacidad de autocorrección y cambio para que haya genuino carácter científico en las predicciones. Ya Reichenbach (1938), planteaba que las predicciones son esencialmente corregibles. Y ciertamente algunas predicciones son mejores que otras, porque son correctas en un mayor número de casos (González, 2010a).

Aunque toda crítica tiene que ir asociada a algo no criticado, de modo que la predicción ha de contar con una base de apoyo que evite la crítica absoluta, que es autodisolvente. La evaluación en ciencia debe de ser con criterios propios de los científicos, lo cual supone tener solidez en los puntos de apoyo para predecir. Si bien la ciencia como actividad humana revisable, también lo es que hay diversos niveles de fiabilidad en el conocimiento disponible. Popper hablaba de una actitud crítica en la actividad científica y en la actividad racional. Pensaba que se puede llegar a la verdad a base de eliminar críticamente el error (Popper, 1962).

La actitud crítica ha de estar presente en la mejora genética vegetal en cuanto a Ciencia de Diseño —un campo del que no se ocupó Popper—, de modo que haya la revisión y autocorrección científica de las predicciones realizadas como base para las prescripciones adecuadas. Cada año es necesario predecir los resultados esperables y prescribir qué tipo de cruzamientos se van a realizar y en qué cuantía.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Catedrático de Lógica y Filosofía de la Ciencia Dr. Wenceslao J. González de la Universidad de La Coruña por su ayuda, generosidad e inestimable apoyo en la preparación de este trabajo. Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la Fundación Séneca de la Región de Murcia (España), Proyecto “Breeding stone fruit species assisted by molecular tools”, ref. 19879/GERM/15, dentro del Programa de Ayudas a los

Grupos y Unidades de Excelencia Científica de la Región de Murcia, España.

Referencias

- Artola, M., & Sánchez-Ron, J.M. (2012). *Los pilares de la ciencia*. Ed. Espasa, Madrid. p806.
- Bianchi, V., Rubio, M., Trainotti, L., Verde, I., Bonghi, C., & Martínez-Gómez, P. (2015). *Prunus* transcription factors: Breeding perspectives. *Front. Plant Sci*, 6, 1-20. <http://doi.org/10.3389/fpls.2015.00443>.
- Buiatti, M. (2012). *Las Biotecnologías*. Traducción de P.M. García Fraile. Ed. Acento, Madrid. p92.
- Cambrá, M., Gorris, M.T., García, J.A., & Candresse, T. (2006). *Plum pox virus* and the estimated costs associated with sharka disease. *EPPO Bull*. 36(2), 202-204. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2006.01027.x>.
- Campoy, J.A., Ruiz, D., Egea, J., Rees, J., Celton, J.M., & Martínez-Gómez, P. (2011a). Inheritance of flowering time in apricot (*Prunus armeniaca* L.) and analysis of linked quantitative trait loci (QTLs) using simple sequence repeat (SSR) markers. *Plant Mol. Biol. Reporter*, 29(2), 404-410. <http://doi.org/10.1007/s11105-010-0242-9>.
- Campoy, J.A., Ruiz, D., & Egea, J. (2011b). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Hort*. 130(2), 357-372. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.011>.
- Crick, F. (1970). Central dogma of molecular biology. *Nature*, 227, 561-563.
- Cuevas-Badallo A. (2005). A Model-based approach to technological theories. *Techné*, 11(1), 18-49.
- Cuevas-Badallo, A. (2008). Los bio-artefactos: viejas realidades que plantean nuevos problemas en la adscripción funcional. *Argumentos de Razón Técnica*, 11, 71-96.
- Cuevas-Badallo, A., Pieter, E., & Vermaas, N. (2011). A functional abc for Biotechnology and the dissemination of its progeny. *Stud Hist Philos Sci*, 42(2), 261-269. doi:10.1016/j.shpsc.2010.12.008.
- Dicenta, F., García, J.E., Gella, R., & Martínez-Gómez, P. (1996). Resistencia a la sharka: Un carácter a mejorar en los albaricoqueros españoles. *Investigación Técnica y Económica Agraria* 92, 131-143.
- Egea, J., Burgos, L., Martínez-Gómez, P., & Dicenta, F. (1999). Apricot breeding for sharka resistance at CEBAS-CSIC, Murcia (Spain). *Acta Hort*, 488, 153-157. doi:10.17660/ActaHortic.1999.488.20.
- Egea, J., Ortega, E., Martínez-Gómez, P., & Dicenta, F. (2003). Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environ Exp Botany*, 50(1), 79-85. doi: 10.1016/S0098-8472 (03)00002-9.
- Friedman, M. (1974). Explanation and Scientific Understanding. *The Journal of Philosophy* 71, 5-19.
- Giménez, R., Obi, V.I., Moreno, M.A., Gogorcena, Y., Barriuso, J.J., & Floris, E. (2013). Evaluación de la tolerancia a Monilia en cultivares de melocotonero. *Horticultura*, 310, 20-25.
- González, W.J. (1998a). Prediction and Prescription in Economics: A Philosophical and Methodological Approach. *Theoria*, 13(2), 321-345.
- González, W.J. (1998b). Racionalidad científica y Racionalidad tecnológica: La mediación de la racionalidad económica, *AGORA-Papeles de Filosofía*, 17, 95-115.
- González, W.J. (2001). De la Ciencia de la Economía a la Economía de la Ciencia: Marco conceptual de la reflexión metodológica y axiológica. En A. Ávila W. J González y G. Marqués [ed.]: *Ciencia económica y Economía de la Ciencia: Reflexiones filosóficometodológicas*, Madrid: FCE. pp. 11-37.
- González, W.J. (2002). *Diversidad de la explicación científica*. Ed. Ariel, Barcelona, pp. 13-49.
- González, W.J. (2005). The Philosophical Approach to Science, Technology and Society. En González, W.J. (ed), *Science, Technology and Society: A Philosophical Perspective*, Netbiblo, A Coruña, España. pp. 3-49.
- González, W.J. (2007). Análisis de las Ciencias de Diseño desde la racionalidad limitada, la predicción y la prescripción. En González, W. J. (ed), *Las Ciencias de Diseño: Racionalidad limitada, predicción y prescripción*. Ed. Netbiblo A Coruña. pp. 3-38.
- González, W.J. (2008). Rationality and Prediction in the Sciences of the Artificial: Economics as a Design Science. En Galavotti, M. C., Scazzieri, R. y Suppes, P. (eds), *Reasoning, Rationality, and Probability*, CSLI Publications, Stanford, USA. pp. 165-186.
- González, W.J. (2010a). Recent Approaches on Observation and Experimentation: A Philosophical-Methodological Viewpoint. En: González, W. J. (ed.), *Methodological Perspectives on Observation and Experimentation in Science*, Netbiblo A Coruña España. pp. 9-48.
- González, W.J. (2010b). *La predicción científica: Concepciones filosófico-metodológicas desde H. Reichenbach a N. Rescher*. Ed. Montesinos, Barcelona. 250 p.
- González, W.J. (2011). Conceptual Changes and Scientific Diversity: The Role of Historicity. En: González, W. J. (ed.), *Conceptual Revolutions: From Cognitive Science to Medicine*, Netbiblo A Coruña. pp. 39-62.
- González, W.J. (2012a). La Economía en cuanto a Ciencia: Enfoque desde la complejidad. *Revista Galega de Economía*, 21, 1-30.
- González, W.J. (2012b). Complejidad estructural en Ciencias de Diseño y su incidencia en la predicción científica: El papel de la sobriedad de factores (*parsimonious factors*). En: González, W. J. (ed), *Las Ciencias de la Complejidad: Vertiente dinámica de las Ciencias de Diseño y sobriedad de factores*, Netbiblo, A Coruña, España. pp. 143-167.
- González, W.J. (2012c). La vertiente dinámica de las Ciencias de la Complejidad. Repercusión de la historicidad para la predicción científica en las Ciencias de Diseño”, en *Las Ciencias de la Complejidad: Vertiente dinámica de las Ciencias de Diseño y sobriedad de factores*, Netbiblo A Coruña, España. pp. 73-106.
- González, W.J. (2013a). The Sciences of Design as Sciences of Complexity: The Dynamic Trait. En Andersen, H., Dieks, D., González, W. J., Uebel, Th. y Wheeler, G. (eds), *New Challenges to Philosophy of Science*. Springer, Dordrecht, Alemania. 2013a, pp. 299-311.
- González, W.J. (2013b). The Roles of Scientific Creativity and Technological Innovation in the Context of Complexity of Science. En González, W. J. (ed), *Creativity, Innovation, and Complexity in Science*. Ed. Netbiblo, A Coruña, pp. 11-40.

- González, W.J. (2013c). Scientific Prediction in the Beginning of the Historical Turn: Stephen Toulmin and Thomas Kuhn, *Open Journal of Philosophy*, 3(2), 351-357. doi: 10.4236/ojpp.2013.32053.
- González, W.J. (2015). Prediction and Prescription in Biological Systems: The Role of Technology for Measurement and Transformation. En: Bertolaso, M. (ed), *The Future of Scientific Practice: 'Bio-Techno-Logos'*. Ed. Pickering and Chatto, Londres, pp. 133-146.
- Gradziel, T.M., Martínez-Gómez, P., Dicenta, F., & Kester, D.E. (2001). The utilization of related *Prunus* species for almond variety improvement. *J Am Pom Soc*, 55(2), 100-108.
- Gradziel, T.M., Martínez-Gómez, P., Dandekar, A., Uratsu, S., & Ortega, E. (2002). Múltiple genetic factors control self-fertility in almond. *Acta Horti*, 591, 221-227. doi:10.17660/ActaHortic.2002.591.31.
- Guston, D.H. (2000). Between Politics and Science: Assuring the Integrity and Productivity of Research. Cambridge University Press, Reino Unido. 86 p.
- Hayward, M.D., Bosemark, N.O., & Romagosa, I. (1993). *Plant Breeding. Principles and Prospects*. Chapman & Hall, London, UK. 362 p.
- Infante, R., Martínez-Gómez, P., & Predieri, S. (2008). Quality oriented fruit breeding: Peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *J. Food Agr. Environ*, 6(2), 342-356.
- Infante, R., Martínez-Gómez, P., & Predieri, S. (2011). Breeding for fruit quality in *Prunus*. En Jenks, M.A. (Ed), *Breeding for Fruit Quality*. Blackwell. New York (USA), pp. 201-229.
- Jasanoff, S. (2006). Biotechnology and Empire: The Global Power of Seeds and Science. *OSIRIS* 21:273-292.
- Jiménez, S., Pinochet, J., Abadía, A., Moreno, M.A., & Gogorcena, Y. (2008). Tolerance response to iron chlorosis of *Prunus* selections as rootstocks. *Hort Science*, 43(2), 304-309.
- Jiménez, S., Dridi, J., Gutiérrez, D., Moret, D., Irigoyen, J.J., Moreno, M.A., & Gogorcena, Y. (2013). Physiological biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. *Tree Physiology*, 33(10), 1061-1075. doi:10.1093/treephys/tpt074.
- Lakatos, I. (1978). *The Methodology of Scientific Research Programs, Philosophical Papers Vol. 1*. Cambridge, Reino Unido. Cambridge University Press, USA.
- Martínez-Gómez, P., Nieto-Angel, R., & Dicenta, F. (1997). El virus de la sharka (Plum pox virus) en frutales. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 3, 45-51.
- Martínez-Gómez, P. (1998). Principios y perspectivas de la mejora genética del albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.). *Fruticultura Profesional*, 96, 40-48.
- Martínez-Gómez, P., Dicenta, F., & Audergon, J.M. (2000). Behaviour of apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars in presence of sharka (*plum pox potyvirus*): a review. *Agronomie*, 20(4), 407-422. doi: 10.1051/agro: 2000137.
- Martínez-Gómez, P., Sozzi, G.O., Sánchez-Pérez, R., Rubio, M., & Gradziel, T.M. (2003a). New approaches to *Prunus* tree crop breeding. *J. Food Agr. Environ*, 1(1), 52-63.
- Martínez-Gómez, P., Arulsekhar, S., Potter, D., & Gradziel, T.M. (2003b). An extended interspecific gene pool available to peach and almond breeding as characterized using simple sequence repeat (SSR) markers. *Euphytica*, 131(3), 313-322. doi:10.1023/A:1024028518263.
- Martínez-Gómez, P., López M.A., Ortega, E., Sánchez-Pérez, R., Batlle, I., Dicenta, F., Dandekar, A.M., & Gradziel, T.M. (2003c). Identification of self-incompatibility alleles in almond and related *Prunus* species using PCR. *Acta Horticulturae*, 622, 353-357. doi:10.17660/ActaHortic.2003.622.41.
- Martínez-Gómez, P., Rubio, M., Dicenta, F., & Gradziel, T.M. (2004). Resistance to Plum Pox Virus (RB3.30 isolate) in a group of California almonds and transfer of resistance to peach. *J Am Society Hort Sci*, 129(4), 544-548.
- Martínez-Gómez, P., Sánchez-Pérez, R., Rubio, M., Dicenta, F., Gradziel, T.M., & Sozzi, G.O. (2005). Application of Recent Biotechnologies to *Prunus* breeding. *Cienc Inv Agr*, 32, 55-78.
- Martínez-Gómez, P., Crisosto, C., Bonghi, C., & Rubio, M. (2011). New approaches to *Prunus* transcriptome analysis. *Genetica*, 139(6), 755-769. doi:10.1007/s10709-011-9580-2.
- Martínez-Gómez, P., Sánchez-Pérez, R., & Rubio, M. (2012). Clarifying omics concepts, challenges and opportunities for *Prunus* breeding in the Post-genomic Era. *OMICS*, 16(5), 268-283. doi:10.1089/omi.2011.0133.
- Mendel, G. (1886). Versuche über Pflanzen-Hybriden. *Verhandlungen des Naturforschenden Vereines, Abhandlungen*, Brunn, 4, 3-37.
- Moreno, M.A., Gogorcena, & Pinochet, J. (2008). Mejora y selección de patrones *Prunus* tolerantes a estrés abióticos. En: *La adaptación al ambiente y los estrés abióticos en la mejora vegetal*. (C Avila, SG Atienza, MT Moreno, JI Cubero, eds.). Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla, España. pp. 451-475.
- Mosterin, J. (2013). *Ciencia, Filosofía y Racionalidad*. Ed. Gedisa, Barcelona. 358 pp.
- Niiniluoto, I. (1993). The Aim and Structure of Applied Research. *Erkenntnis* 38,1-21.
- Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Ed. Tecnos, Madrid, España.
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and prediction*. Chicago, IL: The University of Chicago Press, USA.
- Quintanilla, M.A. (1997). El concepto de progreso tecnológico. *Arbor*, 157, 377-390.
- Rescher, N. (1998). *Complexity: A Philosophical Overview*. New Brunswick, NJ. Transaction Publishers, USA, pp. 1-26.
- Rosemberg, A. (1985). *The estructure of Biological Science*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Rosemberg, A. (1992). *Economics–Mathematical Politics or Science of Diminishing Returns?* Chicago, IL. The University of Chicago Press. 199 pp.
- Rubio, M., Olivares, P.M., Martínez-Gómez, P., & Bianchi, V.J. (2014). Utilización de técnicas de secuenciación masiva en el análisis de genomas y transcriptomas de frutales y su aplicación en los programas de mejora genética. *Fruticultura*, 35,42-55.
- Ruiz, D., Martínez-Gómez, P., Rubio, M., Petri, C., Larios, A., Campoy, J.A., & Egea, J. (2011). Application of biotechnology tools to apricot breeding. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology* 5 (Sup), 101-117.

- Salazar, J.A., Ruiz, D., Egea, J., & Martínez-Gómez, P. (2013). Transmission of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) and analysis of linked QTLs using simple sequence repeat (SSR) markers. *Plant Mol. Biol. Reporter*, 31(6), 1506-1517. doi: 10.1007/s11105-013-0625-9.
- Salazar, J.A., Ruiz, D., Campoy, J.A., Sánchez-Pérez, R., Crisosto, C.H., Martínez-García, P.J., Blenda, A., Jung, S., Main, D., & Martínez-Gómez, P. (2014). Quantitative Trait Loci (QTL) and Mendelian Trait Loci (MTL) analysis in *Prunus*: A breeding perspective and beyond. *Plant Mol Biol Reporter*, 32(1), 1-18. doi:10.1007/s11105-013-0643-7.
- Sánchez-Monje, E. (1955). *Fitogenética (mejora de plantas)*. Ed. Salvat. Barcelona, España. 511 pp.
- Sánchez-Pérez, R., Dicenta, F., & Martínez-Gómez, P. (2004). Identification of S-alleles in almond using multiplex-PCR. *Euphytica*, 138 (3), 263-269. doi:10.1023/B:EUPH.0000047097.96271.bf.
- Sánchez-Pérez, R., Ortega, E., Duval, H., Martínez-Gómez, P., & Dicenta, F. (2007). Inheritance and correlation of important agronomic traits in almond. *Euphytica*, 155, 381-391.
- Sánchez-Pérez, R., Dicenta, F., y Martínez-Gómez, P. (2012). Inheritance of chilling and heat requirements for flowering in almond and QTL analysis. *Tree Genetics Gen*, 8(2), 379-389. doi: 10.1007/s11295-011-0448-5.
- Sánchez-Pérez, R., del Cueto, J., Dicenta, F., & Martínez-Gómez, P. (2014). Recent advances to study flowering time in almond and other *Prunus* species. *Front Plant Sci*, 5, 334. doi:10.3389/fpls.2014.00334.
- Simon, H. (1996). *The Sciences of the Artificial*. 3rd ed. The MIT Press. Cambridge (Mass.) EEUU. 360 pp.
- Solis, C., y Selles, M. (2009). *Historia de la ciencia*. Ed. Espasa, Madrid. pp. 1120-1130.
- Sorkheh, K., Shiran, B., Asadi, E., Jahanbazi, H., Moradi, H., Gradziel, T.M., & Martínez-Gómez, P. (2009). Phenotypic diversity within native Iranian almond (*Prunus* spp.) species and their breeding potential. *Genetic Resources & Crop Evolution*, 56, 947-961. doi:10.1007/s10722-009-9413-7.
- Sorkheh, K., Shiran, B., Khodambashi, M., Moradi, H., Gradziel, T.M., & Martínez-Gómez, P. (2010). Correlations between quantitative tree and fruit almond traits and their implications for breeding. *Scientia Hort*, 125(3), 323-331. doi: 10.1016/j.scienta.2010.04.014.
- Watson, J.D., y Crick, F.H.C. (1953). Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171, 737-738.
- Watson, J.D. (2006). *ADN. El secreto de la vida*. Traducida por Irene Cifuentes y Teresa Carretero. Sexta Edición. Alfaguara SA, Buenos Aires, Argentina. pp. 113-150.
- Wood, R.J., y Vitezslav, O. (2005). *Genetic Prehistory in Selective Breeding. A prelude*. Ed. Oxford University Press, Reino Unido. 2ª Edición. 423 pp.