

# LA DOMESTICACIÓN EN LA ERA DE LA BIOTECNOLOGÍA: EL FUTURO DE NUESTRA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Miriam Rebeca Álvarez Tostado Reyes, Antonio Alfredo Bueno Hernández,  
Fabiola Juárez Barrera



## Resumen

La domesticación de especies se ha considerado un logro exclusivo de nuestros antepasados agricultores. Sin embargo, este proceso se encuentra más vigente que nunca, aunque hoy, en lugar de seleccionar los animales más dóciles o las frutas más grandes, se recurre a la genética, la biotecnología y las herramientas de cultivo para generar organismos que respondan a las exigencias del cambio climático, a la necesidad de alimentos más nutritivos y a la presión por obtener más alimentos usando menos recursos. La domesticación no se ha detenido, simplemente ha cambiado de objetivos y estrategias.

## Introducción

Un desafío global de nuestro tiempo es ofrecer alimentos suficientes, seguros y nutritivos a una población que crecerá en las próximas décadas, en un mundo que atraviesa un cambio climático. Algunas estimaciones calculan que seremos aproximadamente 9.100 millones de personas en 2050 (Figura 1); esto se traducirá en la necesidad de producir entre un 50 y un 70% más de alimentos (FAO, 2009). Sin embargo, el modelo de producción actual resulta insostenible en términos ambientales.

La cantidad de alimentos que se produzcan no será el único factor que determine la seguridad alimentaria; también dependerá de cómo los cultivamos y de qué especies ponemos en el centro de nuestros sistemas

agrícolas. Es aquí donde la nueva era de la domesticación cobra un papel fundamental. No solo se trata de mejorar lo que ya tenemos, sino de rediseñar las bases de nuestra alimentación a partir de los fundamentos genéticos, procurando la estabilidad ecológica. Estos esfuerzos abarcan desde el desarrollo de plantas de mayor valor nutritivo y de especies resistentes a las sequías, el mejoramiento de la planeación y la organización, hasta el uso eficiente de los recursos. Todo esto para replantear la relación con las especies de consumo antes de que el sistema actual colapse (Figura 1).

## La domesticación es evolución

La domesticación de especies implica la transformación de rasgos, apariencia e incluso el comportamiento de los ancestros silvestres hasta las variedades modificadas. Estos cambios inducidos en los organismos domesticados han hecho que dependan del ser humano para su reproducción o propagación. Las características que se han favorecido en los cultivos, a lo largo de milenios, pero con mayor intensidad desde hace aproximadamente 200 años, se relacionan con la facilidad de cosecha y el incremento del rendimiento (Abbo et al., 2014).

El inicio de la domesticación parece haber ocurrido hace aproximadamente 10,000 a 15,000 años, durante el periodo neolítico, y fue un suceso que cambió por completo la historia y la evolución de la especie humana.

No fue un evento aislado y único; la evidencia arqueológica y genética nos ha permitido identificar distintos momentos y lugares a lo largo del mundo donde se originó la domesticación de especies nativas de estas áreas (Scanes, 2018).



**Figura 1.** La producción mundial de alimentos se incrementará hasta un 70 % más en 2050. (Imagen de referencia creada con IA-ChatGPT)

El concepto de domesticación se convirtió en un término científico, en gran medida gracias al trabajo de Charles Darwin, en el siglo XIX. La domesticación y la selección artificial, llevadas a cabo por ganaderos y agricultores, constituyeron evidencia clave en los argumentos de Darwin. Cuando se identificaban animales o plantas con rasgos valiosos, se fomentaba la reproducción entre individuos emparentados o la autopolinización en el caso de las plantas, lo que permitía mantener la apariencia sin cambios en la descendencia. Al repetir este proceso durante muchas generaciones, se conseguía separar la nueva raza de la anterior, logrando una diferenciación y especialización de sus características (Theunissen, 2012). En otras palabras, los efectos de la selección en el contexto de la domesticación eran un hecho plenamente demostrado.

Cuando comprendió cómo actuaba el mecanismo de selección y los efectos que producía en los organismos domesticados, Darwin reconoció con facilidad un patrón semejante en la naturaleza. Las variaciones que aparecen de forma espontánea en los individuos, como un cambio en el color, el tamaño del pico, la forma de una flor o el grosor de la concha de un molusco, pueden heredarse y, en ciertos casos, ofrecer alguna ventaja. Esa ventaja mejora las posibilidades de conseguir alimento, de sobrevivir y de dejar descendencia. A esta idea la llamó “selección natural” (Darwin, 1859).

## La base genética de la domesticación moderna

El surgimiento de la biotecnología y su aplicación al mejoramiento de cultivos o ganado, han transformado radicalmente la forma en que domesticamos especies. Sin embargo, aunque las herramientas han cambiado y se han refinado a lo largo del último siglo, la lógica evolutiva sigue siendo la misma: la selección de individuos con variaciones particulares propicia la diferenciación de rasgos, modifica la apariencia de cada raza y adapta cada una a los diferentes entornos. Solo que ahora conocemos el origen genético de estas variaciones, sus tendencias hereditarias y hemos desarrollado instrumentos que nos permiten manejarlos.

La genética surgió como una disciplina científica a partir del siglo XX, con el redescubrimiento del trabajo de Gregor Mendel.

Sus experimentos con plantas de chícharo demostraron cómo ciertos rasgos físicos se transmiten de padres a hijos en forma de “partículas”, hoy llamadas genes. Observó que algunos atributos no se manifestaban en una generación, aunque seguían transmitiéndose de forma “silenciosa”. Estos rasgos volvían a expresarse en generaciones posteriores sólo cuando ambos progenitores compartían el mismo “factor” de dicha característica.

Las explicaciones mendelianas sobre la herencia sirvieron de base para el desarrollo de programas que buscaban introducir características valiosas de una variedad en otra, mediante el cruce de cultivos. Algunos de estos intentos incluyeron el mejoramiento de trigo resistente a enfermedades en Inglaterra o el incremento de la productividad del maíz y de la cría de gallinas ponedoras en Estados Unidos (Derry, 2015).

Décadas más tarde, tras la Segunda Guerra Mundial, la población humana experimentó un incremento acelerado y, en consecuencia, creció la demanda de alimentos. Esto condujo a una transformación agrícola basada en el desarrollo de nuevas variedades de cultivos, combinando una selección rigurosa de variedades con el uso de fertilizantes, pesticidas, maquinaria sofisticada y sistemas de riego a gran escala.

Entre las décadas de 1960 y 1980 se vivió esta transición, conocida como la Revolución Verde, que logró multiplicar la producción de alimentos en muchos países en desarrollo, principalmente en regiones como América Latina y Asia. Aunque sí se logró un

incremento importante en la producción de alimentos, ese nuevo esquema tuvo implicaciones negativas como el daño ambiental por el uso intensivo de químicos, la sobreexplotación del suelo y agua, extrema dependencia de los insumos adicionales, desigualdad en el acceso a semillas de las variedades mejoradas y una pérdida de la diversidad genética de numerosas variedades locales. En un lapso relativamente corto, ese incremento tan anhelado en las cosechas terminó por estancarse (Ceccon, 2008).

Los límites de este sistema de producción y sus consecuencias ambientales hicieron urgente identificar la base genética que determina los rasgos de las especies domesticadas, no solo para optimizar el rendimiento, sino también para aumentar su resistencia a distintas condiciones. En ese contexto, durante la segunda mitad del siglo XX, el desarrollo de la tecnología necesaria para identificar el ADN, descifrar el código genético y secuenciar este material, cambió el panorama de la investigación científica y su aplicación a las especies domesticadas, pues representó la posibilidad de localizar y estudiar la base genética de los rasgos involucrados en la domesticación.

## La edición genética: una nueva caja de herramientas

En la actualidad, una de las innovaciones más importantes de la tecnología molecular, que seguramente revolucionará la industria agrícola tal como la conocemos, es la edición

genética. Aunque desde la década de 1990 se han desarrollado varias técnicas de edición, el sistema CRISPR-Cas9, desarrollado en 2012 por Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier, es el más popular actualmente, debido a su simplicidad, alta eficiencia, precisión y costo accesible (Kumar et al., 2022).

CRISPR es un sistema derivado de un mecanismo de defensa que poseen algunas bacterias que les permite “recordar” ADN de virus que las hayan infectado anteriormente. Por otro lado, la Cas9 es una proteína asociada a la vía CRISPR que se encarga de realizar los cortes en el ADN viral y así inactiva la infección (Laguna-Rangel, 2019).

Esta estrategia de edición genética se ha aplicado a más de 40 cultivos en 25 países, principalmente con el objetivo de mejorar la calidad de los alimentos y la tolerancia a condiciones climáticas extremas. Algunos ejemplos incluyen el champiñón común modificado para evitar que se oscurezca; el lino falso con aceite de omega-3 mejorado (más adecuado para procesos industriales) y el maíz ceroso con alto contenido de amilopectina. Estos productos obtuvieron la aprobación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para su comercialización, en tiempo récord (Pixley et al., 2022). Sin embargo, aunque ya cuentan con autorización, todavía no se producen ni se venden ampliamente, en parte por cuestiones de oferta y demanda, así como por la baja aceptación entre agricultores y consumidores.

Con el uso de esta tecnología sería posible intervenir no solo en los cultivos que son mundialmente consumidos, también se

podrían editar los denominados cultivos huérfanos, especies que a pesar de ser una fuente valiosa de nutrientes y de tener gran capacidad de adaptación al cambio climático, han sido poco consideradas tanto en la investigación como en el mercado agrícola. De igual manera, la tecnología CRISPR-Cas9 podría utilizarse para domesticar desde cero algunas plantas candidatas completamente silvestres, pero cuya existencia se sabe que presenta alguna característica que las hace aprovechables. A este proceso, en el que se podría transformar aceleradamente una especie silvestre hasta convertirla en un estado domesticado, se le conoce como domesticación de novo. El tomate y la uchuva son ejemplos de plantas silvestres en las que se ha experimentado mediante edición genética para inducir cambios en el tipo de crecimiento, la forma y el tamaño del fruto, el número de frutos y la calidad nutricional (Kumar et al., 2022).

Hasta el momento, no se ha desarrollado ningún cultivo neodomesticado que ya esté siendo distribuido y comercializado. Aunque esta estrategia es prometedora y podría contribuir al cumplimiento de metas como la seguridad alimentaria, aún se encuentra en etapa de investigación, ya que la información genética de muchas plantas modelo no se ha caracterizado por completo. Además, deben considerarse otros aspectos, como la interacción de la planta modificada en diferentes entornos, la infraestructura para su cultivo, la aceptación por parte de agricultores y consumidores, y la regulación política para su salida al mercado.

Ante este panorama, es necesario reflexionar que el éxito de las variedades mejoradas no depende exclusivamente de la tecnología de punta. La biotecnología moderna no reemplaza al mejoramiento convencional, sino que lo complementa (Figura 2).



**Figura 2.** La seguridad alimentaria dependerá de la combinación del mejoramiento tradicional y del uso responsable de la edición genética (imagen de referencia generada con IA ChatGPT).

## Repensando nuestras formas de domesticar y administrar

Gracias a la domesticación de numerosas especies, principalmente plantas, los seres humanos hemos podido sobrevivir a lo largo de un proceso en el que no solo hemos experimentado cambios en nuestra dieta, estilo de vida, organización social y política, sino también otros cambios asociados, como una transformación significativa del paisaje y de la diversidad biológica. Sin embargo, a pesar de estos avances y del progreso tecnológico acumulado durante siglos, nunca se ha garantizado plenamente la seguridad alimentaria para toda la población humana, es decir, no ha sido posible asegurar el acceso y la disponibilidad de alimentos nutritivos para todas las personas.

Aunque en la actualidad, tras décadas de investigación científica y su aplicación en la agricultura moderna, se producen suficientes alimentos para abastecer a la población mundial, resulta irónico que millones de personas estén expuestas a padecer hambre crónica, desnutrición u obesidad. Esto no se debe a la falta de producción, sino a que la seguridad alimentaria se ve comprometida por el acceso desigual a los alimentos y por sistemas de gestión política ineficientes e inequitativos (Fita et al, 2015).

Además de cambiar el sistema de producción, es necesario modificar nuestros modelos de consumo. A pesar de existir cientos de especies vegetales domesticadas, en la actualidad la principal fuente de calorías depende de apenas cinco cereales (trigo,

maíz, arroz, sorgo y mijo) (Kumar et al, 2022). Es cierto que existen muchas otras plantas cultivadas que forman parte de la dieta humana, sin embargo, no todas se producen a gran escala y algunas son de difícil acceso para distintas poblaciones. Esto nos habla de lo poco variada que es la alimentación moderna, y que representa un riesgo latente al depender de unas cuantas especies con una diversidad genética reducida.

Para diversificar las preferencias alimentarias debe existir una oferta variada que pueda sostenerse mediante la diversificación de cultivos. Es aquí donde pueden aprovecharse las plantas tradicionales locales, los cultivos huérfanos e incluso especies silvestres que puedan ser neodomesticadas, mediante herramientas de edición genética, para mantener y/o mejorar aspectos como su valor nutricional y su resistencia a condiciones extremas, pero eliminando rasgos indeseables.

No debe perderse de vista que el uso de las tecnologías de vanguardia, a pesar de traer grandes beneficios, debe ser debidamente regulado, ya que hay aspectos que no pueden predecirse con exactitud, como la posibilidad de mutaciones espontáneas que alteren el rendimiento esperado de la variedad editada o modifiquen las barreras reproductivas naturales entre variedades de una misma especie. Asimismo, hay preocupaciones de otro tipo, como el riesgo de otorgar un beneficio desproporcionado a sectores favorecidos e incrementar la desigualdad social, así como la falta de claridad sobre la propiedad intelectual de las variedades mejoradas mediante edición genética (Pixley et al., 2022).

Las nuevas biotecnologías aplicadas al manejo de organismos domesticados se convertirán en una herramienta fundamental para hacer frente al importante desafío global de garantizar la seguridad alimentaria. Pero estos instrumentos modernos de mejoramiento genético no constituyen la solución definitiva. El esquema sostenible que necesitamos requiere entender la dinámica evolutiva de las especies, inventariar la base genética de los rasgos valiosos, conservar la diversidad biológica, optimizar múltiples recursos para amortiguar los costos ambientales, integrar el conocimiento tradicional de diversas poblaciones locales, así como promover una distribución más equitativa de los recursos y de los beneficios del avance biotecnológico. Vivimos un momento que requiere una nueva forma de gestionar la domesticación de especies.

## Referencias

- Abbo S., Van-oss R.P., Gopher A., Saranga Y., Ofner I. and Peleg Z. (2014). Plant domestication versus crop evolution: a conceptual framework for cereals and grain legumes. *Trends in Plant Science*, 19: 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.12.002>
- Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Revista Ciencias*, 1(91): 21-29. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64411463004>
- Darwin, Charles R. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray.
- Derry, M. (2015). *Masterminding Nature: The Breeding of Animals, 1750-2010*. University of Toronto Press. Toronto.
- FAO. (2009). *Alimentar al mundo en 2050. Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria*. Roma, Italia.
- Fita, A., Rodríguez-Burruezo, A., Boscai, M., Prohens, J. and Oscar, V. (2015). Breeding and Domesticating Crops Adapted to Drought and Salinity: A New Paradigm for Increasing Food Production. *Frontiers in Plant Science*, 6(11): 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00978>
- Kumar, K., Mandal, S.N., Pradhan, B., Kaur, P., Kaur, K. and Neelam, K. (2022). From Evolution to Revolution: Accelerating Crop Domestication through Genome Editing. *Plant and Cell Physiology*, 63(11): 1607-1623. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcac124>
- Laguna-Rangel, F. A. (2019). Sistema CRISPR/Cas. *Ciencia*, 70(4): 1-5.
- Pixley, K.V., Falck-Zepeda, J.B., Paarlberg, R.L., Phillips, P.W., Slamet-Loedin, I., Dhugga, K.S., Campos, H. and Gutterson, N. (2022). Genome-edited crops for improved food security of smallholder farmers. *Nature Genetics*, 54: 364-367. <https://doi.org/10.1038/s41588-022-01046-7>
- Scanes, C. G. (2018). The neolithic revolution, animal domestication, and early forms of animal agriculture. In: C.G. Scanes and S. Toukhsati (eds.), *Animals and Human Society* (pp. 103-131). Academic Press.
- Theunissen, B. (2012). Darwin and His Pigeons. The Analogy Between Artificial and Natural Selection Revisited. *Journal of the History of Biology*, 45: 179-212. <https://doi.org/10.1007/s10739011-9310-8>
- 
- M. en C. Miriam Rebeca Álvarez Tostado Reyes.** Candidata al grado de Doctora en Ciencias, cuya línea de investigación es la historia de la biología y la historia de las explicaciones evolucionistas, adscrita como profesora de asignatura en la FES Zaragoza de la UNAM. Email: mirirbk29@gmail.com
- Dr. Antonio Alfredo Bueno Hernández.** Profesor de tiempo completo, cuyas líneas de trabajo incluyen la historia y la filosofía de la biología comparada, la ornitología, la biogeografía y la sistemática. Responsable de la Unidad de Investigación en Biología Comparada y Biodiversidad, FES Zaragoza UNAM. Email: abueno@unam.mx
- Dra. Fabiola Juárez Barrera.** Profesora de tiempo completo, cuyas líneas de trabajo incluyen historia y filosofía de la biología, biogeografía histórica, sistemática y conservación. Responsable de la línea de investigación "Historiografía de la Biogeografía", adscrita a la FES Zaragoza de la UNAM. Email: fabiola.juarez@zaragoza.unam.mx