

Selección Asistida por Marcadores

Una biotecnología no invasiva alternativa a la ingeniería genética

**Resumen ejecutivo
noviembre 2009**

Selección Asistida por Marcadores

Una biotecnología no invasiva alternativa a la ingeniería genética

Resumen ejecutivo - noviembre 2009

(Foto de portada ©Ulrich Baatz/Greenpeace)

La selección asistida por marcadores (SAM), una técnica moderna de mejora vegetal, ha experimentado en los últimos años una revolución silenciosa que contrasta con la atención pública acaparada por la ingeniería genética. La SAM no sustituye a la mejora vegetal tradicional, pero puede ayudar a hacerla más eficiente. **No implica la transferencia de secuencias genéticas** aisladas, como la ingeniería genética, sino que ofrece herramientas para seleccionar de manera dirigida el material vegetal existente, facilitando el proceso de mejora vegetal.

La SAM ha demostrado ya que constituye una herramienta valiosa para la mejora vegetal: requiere una **menor inversión**, presenta **menos riesgos de seguridad**, **respeto las barreras de las especies** y tiene una buena aceptación pública. Este informe destaca docenas de ejemplos de variedades mejoradas con la ayuda de la SAM que ya están comercializándose, demostrando su enorme potencial para enfrentarse a desafíos como la necesidad de adaptación al cambio climático, la resistencia a enfermedades o unas cualidades nutricionales superiores. Por el contrario, tras 25 años de esfuerzos por parte de la industria y de los políticos afines, la ingeniería genética nos ha traído únicamente cultivos con dos rasgos principales: tolerancia a determinados herbicidas y resistencia a las plagas.

Este documento corresponde al Resumen Ejecutivo del informe "**Smart Breeding. Marker-Assisted Selection. A non-invasive biotechnology alternative to genetic engineering of plant varieties**"¹, cuyo objetivo es destacar algunos de los resultados actuales de SAM.

- La primera parte describe el funcionamiento de SAM y las ventajas que ofrece esta técnica comparada con la mejora vegetal convencional.
- La segunda compara la SAM con la ingeniería genética. A continuación se describe el estado actual de desarrollo y las perspectivas de SAM.
- Por último, se destaca la utilización de la SAM en la mejora vegetal del arroz, citando varios ejemplos de variedades desarrolladas exitosamente, terminando con unas últimas secciones que describen su aplicación para el desarrollo de variedades resistentes a la sequía, para aprovechar la biodiversidad y para mejorar la nutrición.

1 Public url: <http://www.greenpeace.org/espana/reports/smart-breeding-marker-assisted> Traducción: Isabel Bermejo

¿Qué es la selección asistida por marcadores?

En la mejora vegetal tradicional se seleccionan plantas individuales con los rasgos deseados, como fresas más dulces o patatas más grandes, a partir de cruces de una amplia variedad de fresas o de patatas. Pero si bien algunos rasgos sencillos -como el tamaño o el contenido en azúcares- pueden medirse con facilidad, las características más complejas -como la resistencia a una enfermedad o a la sequía- resultan mucho más difíciles de detectar cuando el mejorador quiere seleccionar individuos que expresen dichos rasgos para su utilización en el proceso de mejora genética. Identificar las patatas más resistentes a la sequía, por ejemplo, es una tarea pesada, cuando no imposible.

La selección asistida por marcadores (SAM), también denominada mejora vegetal asistida por marcadores, evita este problema utilizando marcadores que están ligados al rasgo deseado. Una vez identificada una secuencia genética que está siempre ligada, por ejemplo, a la resistencia a una enfermedad, esta técnica evita la necesidad de verificar mediante ensayos si cada una de las plantas resultantes de un cruce ha adquirido esta complicada característica: sólo es preciso buscar el marcador mediante una sencilla prueba de ADN, que permite detectar de inmediato qué plántulas han adquirido resistencia y cuales no. En este proceso **no se altera el ADN** ni se introducen genes nuevos **-se trata de mejora vegetal tradicional ayudada por técnicas moleculares**. La SAM se utiliza frecuentemente como sinónimo de Selección con Marcadores y Tecnología Reproductiva Avanzada, también denominada mejora vegetal inteligente (SMART, por las siglas en inglés de esta tecnología).

La SAM puede ser más eficiente, eficaz y fiable que la selección fenotípica. Además, SAM puede reducir considerablemente el tiempo necesario para desarrollar variedades, de modo que en algunos casos resultará más eficaz en términos de coste que la selección basada en fenotipos. La SAM permite asimismo la mejora de rasgos complejos que no era posible con métodos convencionales anteriores. Aunque evidentemente no es un remedio milagroso para todos los problemas, es un enfoque muy prometedor para la mejora vegetal convencional.

Más allá de las técnicas de mejora vegetal

Las técnicas de mejora vegetal como la SAM son sólo **una parte de la solución** a la crisis de los alimentos. La clave de la seguridad alimentaria futura son unos sistemas agrícolas ecológicos y bio-diversos, en vez de continuar con un modelo de agricultura enormemente dependiente de productos químicos. En abril 2008 se presentó un trabajo en el que habían participado más de 400 científicos en todo el mundo -la Evaluación Internacional de las Ciencias y Tecnologías Agrícolas para el Desarrollo (IAASTD, por sus siglas en inglés), coordinada por el Banco mundial y por la Organización para la Agricultura y la Alimentación- que hacía un balance de la situación actual de la agricultura mundial. El informe final, aprobado por más de 60 gobiernos, constituye un testimonio real de los fracasos de la agricultura industrial, concluyendo que la agricultura intensiva en agroquímicos no satisface las necesidades de sustento y de una dieta sana y variada de las comunidades locales. El informe reclama una reorientación sistemática de la investigación agrícola para abordar más adecuadamente el hambre, las graves desigualdades económicas y los problemas ambientales.

Se requieren cambios urgentes en la producción agrícola, y el desarrollo y utilización de nuevos sistemas bio-diversos y bajos en insumos. También son necesarias nuevas variedades de cultivos adecuadas para el cambio: que toleren la sequía, el calor y otros problemas climáticos, que se adapten a sistemas agrícolas biodiversos y que proporcionen productos más sanos para los

agricultores y los consumidores.

Un nuevo paradigma biotecnológico

Desde que se secuenció el genoma humano, muchos expertos hablan de la era post-genómica, en la que los elementos genéticos aislados desempeñarán un papel marginal, mientras que la atención se centrará en la regulación compleja de los genes, sus interacciones y los sofisticados sistemas de señales celulares que apenas comprendemos todavía.

Los científicos que utilizan técnicas de SAM consideran que las plantas y su genoma constituyen un sistema coherente, y no interfieren en los mecanismos reguladores a nivel genético. Para conseguir rasgos determinados en las plantas no es necesario identificar los genes que influyen directamente en las características buscadas. Ni se necesita tampoco conocer ni comprender los mecanismos de regulación de la expresión génica. Es suficiente saber que dentro del genoma determinadas estructuras están relacionadas con cualidades concretas de las plantas. La SAM representa perfectamente el **nuevo paradigma de la biotecnología** de la época post-genómica.

Las técnicas SAM aprovechan los sistemas naturales desarrollados y refinados por la evolución. De hecho, como demuestra este informe, la regulación normal de los genes puede ser mucho más fiable que la ingeniería genética: la transferencia de un gen aislado y único que confiere tolerancia a la inundación no ha logrado obtener los mismos resultados que los cruzamientos y la selección dirigidos, en el contexto de la mejora vegetal convencional asistida por SAM (véase capítulo 3 de este informe).

La SAM es superior a la ingeniería genética

En sus primeros 20 años la transformación de las plantas mediante ingeniería genética no ha obtenido grandes resultados en lo que respecta a los rasgos más relevantes para la seguridad alimentaria mundial. Los cultivos comercializados actualmente producen insecticidas y/o están dotados de tolerancia a los herbicidas. Apenas contribuyen a aumentar los rendimientos, no intentan adaptarse a unas condiciones cambiantes de clima, y tienen un valor muy cuestionable para la agricultura sostenible: la utilización de plantas MG tolerantes a los herbicidas ha dado lugar al desarrollo de nuevas malas hierbas resistentes a los herbicidas (Servive, 2007), mientras que las variedades Bt transformadas mediante ingeniería genética contribuyen a un aumento de nuevas plagas adaptadas a nichos ecológicos nuevos (Catangui, 2006).

Se pueden encontrar observaciones evidentes de las barreras tecnológicas y desventajas del uso de ingeniería genética en las plantas incluso en las solicitudes de patente de empresas como Monsanto y Syngenta. El siguiente párrafo de la solicitud de patente W0 2004053055, de Monsanto, es muy revelador.

"No obstante, la frecuencia de éxito en la mejora de la planta transgénica es baja debido a una serie de factores, ente los que cabe citar la escasa previsibilidad de los efectos de un determinado gen en el crecimiento, desarrollo y respuesta ambiental de una planta, (...) la falta de control con un alto grado de previsibilidad del gen una vez introducido en el genoma, y otros efectos no deseables derivados del proceso de transformación y de cultivo de tejidos.

La SAM compite ventajosamente con la ingeniería genética

La mejora vegetal asistida por marcadores tiene un potencial de mejora mucho mayor que la ingeniería genética. **Dos ejemplos** tomados de este informe:

- **Resistencia a enfermedad:** En el arroz se han identificado 28 genes que confieren resistencia al tizón bacteriano, susceptibles de selección asistida con marcadores moleculares. Aunque varias líneas varietales de arroz han sido transformadas mediante ingeniería genética con estos genes de resistencia, ninguna de ellas ha sido comercializada. En cambio, los agricultores pueden acceder actualmente a diversas variedades de arroz desarrolladas con SAM y resistentes al tizón bacteriano, lo que demuestra que esta técnica es una alternativa competitiva a la ingeniería genética.
- **Tolerancia a la sequía:** En 2007, la MAS 946-1 se convirtió en la primera variedad de arroz aeróbico tolerante a la sequía comercializada en la India. Para desarrollar esta nueva variedad, los científicos de la Universidad de Ciencias Agrícolas de Bangalore cruzaron una línea varietal *japonica* de zonas altas, con raíces profundas, con una variedad *indica* de alto rendimiento procedente de Filipinas. La nueva variedad de arroz, desarrollada con SAM, consume un 60% menos de agua que las variedades tradicionales.

Por el contrario, la creciente importancia de nuevas técnicas de mejora convencional como la SAM se refleja también en declaraciones de algunos de los centros más importantes -y conservadores- de investigación en mejora vegetal, como los del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), por ejemplo el Instituto Internacional de Investigación sobre Arroz (IRRI) en Filipinas. Los centros del CGIAR promueven técnicas como la SAM, como herramienta fundamental de su trabajo para desarrollar nuevas variedades mejoradas: *"En la actualidad las nuevas técnicas nos permiten crear mapas genéticos, descubrir información exacta sobre el papel que desempeñan algunos genes, y marcar genes individuales. Gracias a ello se pueden desarrollar plantas con características deseables mucho más velozmente"*. (<http://www.cgiar.org/impact/agribiotech.html>)

El "plan estratégico 2007-2015" del IRRI también otorga una gran importancia a la mejora vegetal inteligente, mientras que no se menciona que la ingeniería genética sea una tecnología crucial:

"La investigación reciente llevada a cabo por el IRRI ha revelado que el rasgo de tolerancia a la sequía está muy influenciado por genes y redes de genes con efectos importantes. Este proyecto aumentará la escala de los esfuerzos destinados a su detección, análisis y lanzamiento para su utilización en mejora vegetal asistida por marcadores".

Perspectivas

Este informe se centra exclusivamente en las **posibilidades técnicas de la SAM**, sus fortalezas en comparación con la ingeniería genética, y su potencial impacto en la mejora vegetal. Técnicamente, SAM tiene un enorme potencial para contribuir a la agricultura ecológica, pero no es la panacea. El futuro de la agricultura reside en unos sistemas agrícolas biodiversos acompañados por una serie de políticas fundamentales que mantengan las formas rurales de vida y una agricultura sostenible a largo plazo. La SAM y otras técnicas de mejora vegetal no pasan de ser una contribución técnica en este sentido.

Pero sobre todo, está todavía por ver **quien controlará esta tecnología**. Si SAM y otras técnicas de mejora vegetal se utilizan para hacerse con patentes sobre un abanico muy amplio de plantas y de variedades vegetales, los agricultores y agricultoras -y países enteros- podrían perder el control sobre las semillas y sobre el suministro alimentario, con consecuencias potencialmente devastadoras para la seguridad alimentaria y el sustento de la población rural. Está por ver en consecuencia si la SAM será capaz de desarrollar todo su potencial técnico en el mundo real, o si unas pocas empresas agroquímicas internacionales se aprovecharán de esta tecnología para asegurarse el monopolio de las semillas.

Los beneficios de la agricultura respetuosa con el medio ambiente:

1. Proporciona a las comunidades la posibilidad de auto-abastecerse de alimentos y asegura un futuro con agricultura y alimentos saludables para todas las personas.
2. Protege los suelos de la erosión y la degradación, aumenta su fertilidad, conserva el agua y los hábitats naturales y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
3. Constituye una estrategia para la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo. Este tipo de agricultura puede proporcionar sumideros de carbono a gran escala y ofrecer muchas otras opciones para mitigar el cambio climático. Además de ello, la utilización de la biodiversidad es la forma más eficaz de adaptar la agricultura a las condiciones climáticas futuras.

En la actualidad existe una profunda preocupación por la posibilidad de que la **producción futura de alimentos** no sea suficiente. Además del **aumento de la población mundial**, hay varias razones para preocuparse. En primer lugar, el cambio climático global afectará al crecimiento de los cultivos y pondrá en peligro la conservación de las tierras cultivadas. En segundo lugar, las **reservas de agua dulce** están disminuyendo, mientras que aumenta la competencia por el agua de las zonas urbanas y de los sectores industrial y agrícola. Por último, la disponibilidad de tierras de labranza está disminuyendo debido a la erosión y a la degradación de los suelos, a su transformación para otros usos y a una agricultura insostenible.

Hay varias formas fundamentales para afrontar estos problemas emergentes, incluyendo medidas de gestión y reformas económicas y de políticas. La Evaluación Internacional de las Ciencias y Tecnologías Agrícolas para el Desarrollo (IAASTD, por sus siglas en inglés), ha reclamado recientemente un **mayor respaldo para los enfoques agroecológicos**, que considera tienen un gran potencial para la agricultura mundial. Uno de los enfoques para mejorar la producción mundial de alimentos es mejorar la materia prima de la agricultura -los propios cultivos. Durante los últimos veinte años las empresas biotecnológicas -y también algunos políticos y científicos del sector público- han promocionado la ingeniería genética como el mejor enfoque de mejora vegetal para resolver los problemas. Sin embargo, la producción de las primeras variedades transformadas mediante ingeniería genética ha estado marcada por intereses económicos y por las limitaciones de la tecnología disponible, más que por las principales necesidades del mercado. Hasta la fecha, la ingeniería no ha respondido a los problemas emergentes. En la actualidad esta tecnología se ha limitado a producir unos pocos cultivos importantes y un número reducido de características que interesan a los grandes agricultores industriales, desarrollados principalmente por un puñado de empresas multinacionales del sector de las mal llamadas *ciencias de la vida*.

Aunque la ingeniería genética ha acaparado mucha atención, muchos científicos consideran que se puede avanzar más mejorando las variedades mediante aplicaciones biotecnológicas que no

conlleven manipulación genética¹. **La SAM se está utilizando para acelerar y ampliar el ámbito de la mejora vegetal en todo el mundo y se ha convertido en una alternativa valiosa a la ingeniería genética, pues su potencial de mejora genética sin riesgos de daños irreversibles al medio ambiente, ni efectos a largo plazo sobre la salud humana, es enorme.**

¹ La mejora vegetal biotecnológica incluye al menos cuatro áreas de trabajo (Dawson et al. 2009): (i) cultivo de tejidos y micropropagación, (ii) caracterización de la diversidad genética con marcadores moleculares; (iii) mapas genéticos, selección asistida por marcadores y genómica, así como otras dos ciencias relacionadas, proteómica y metabolómica; y (iv) ingeniería genética y producción