



Inteligencia artificial y nuevas técnicas genómicas en la obtención de híbridos de maíz: eficiencia predictiva al servicio del rendimiento

En las siguientes líneas abordo cómo la modelización predictiva, el genotipado avanzado y la edición dirigida del genoma permiten optimizar la elección de parentales, reducir el número de combinaciones evaluadas en campo y acelerar la obtención de híbridos adaptados a condiciones agroclimáticas como las de Galicia.

Vanesa Castro

Responsable de Ventas norte de España en MAS Seeds

La mejora genética del maíz híbrido se enfrenta a una creciente complejidad derivada del cambio climático, la presión sanitaria y la necesidad de maximizar la eficiencia productiva. En este contexto, la integración de inteligencia artificial (IA) y nuevas técnicas genómicas (NGT) está transformando profundamente el proceso de selección genética.

1. EL HÍBRIDO DE MAÍZ: UN EJERCICIO DE OPTIMIZACIÓN GENÉTICA

El maíz híbrido se basa en la combinación de dos líneas parentales

homocigóticas que, al cruzarse, generan descendencia con vigor híbrido o heterosis. Este fenómeno permite obtener:

- mayor rendimiento,
- mejor estabilidad productiva,
- mayor tolerancia a estrés abiótico y biótico,
- uniformidad agronómica.

Sin embargo, el proceso para identificar las combinaciones óptimas es extremadamente complejo. Un programa de mejora puede manejar entre 5.000 y 10.000 combinaciones iniciales de progenitores. Si se consideran todas las posibles recom-

binaciones genéticas, el número de individuos distintos puede superar los tres millones.

Evaluar experimentalmente todas estas combinaciones es técnica y económicamente inviable. El mejorador debe, por tanto, anticiparse: generar variabilidad, pero seleccionar de forma estratégica solo aquellas combinaciones con mayor probabilidad de éxito en campo.

Históricamente, esta selección se apoyaba en experiencia acumulada, ensayos multilocales y análisis estadísticos convencionales. Hoy, el volumen de datos disponibles permite un salto cualitativo: la transición hacia una mejora genética predictiva.

2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA SELECCIÓN DE HÍBRIDOS

La IA no sustituye al mejorador, pero amplifica su capacidad de decisión. Su principal aportación en maíz híbrido se sitúa en tres niveles:

2.1. Modelización de poblaciones virtuales

A partir de datos genómicos de líneas parentales y datos fenotípicos históricos, se desarrollan modelos capaces de:

- simular miles de poblaciones virtuales derivadas de posibles cruzamientos,
- estimar el rendimiento esperado bajo diferentes escenarios ambientales,



► EL OBJETIVO ES DESARROLLAR MODELOS CAPACES DE SIMULAR VIRTUALMENTE ESAS POBLACIONES Y PREDECIR SU RENDIMIENTO ESPERADO ANTES DE CONSTRUIRLAS FÍSICAMENTE

simplemente no se puede gestionar de forma operativa. Si evaluáramos todas las combinaciones posibles, estaríamos hablando de más de tres millones de individuos distintos.”

El objetivo es desarrollar modelos capaces de simular virtualmente esas poblaciones y predecir su rendimiento esperado antes de construir las físicamente. De esta forma, el mejorador recibe información cuantitativa que le permite clasificar poblaciones con mayor probabilidad de éxito.

El resultado operativo es una reducción drástica del número de cru-

zamientos reales, pasando de 5.000 poblaciones virtuales a 150 poblaciones construidas y evaluadas en campo.

Este enfoque no elimina el ensayo experimental, sino que lo racionaliza y lo hace estratégicamente más eficiente.

2.3. Optimización de recursos

Reducir el número de combinaciones reales implica:

- menor superficie experimental,
- menor coste de fenotipado,
- ciclos de evaluación más cortos,
- mayor velocidad de innovación.

En un cultivo como el maíz, donde cada campaña representa un año completo de evaluación, la reducción de ciclos tiene impacto directo en competitividad.

3. GENOTIPADO AVANZADO Y ANÁLISIS MASIVO DE DATOS

La eficacia de la IA depende de la calidad de los datos genéticos. En este ámbito, la colaboración con empresas especializadas en genómica ha permitido optimizar el genotipado en programas de maíz.

3.1. Paneles SNP personalizados

El uso de paneles de polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) específicos para el germoplasma del programa permite caracterizar con precisión cada línea parental, identificar variantes asociadas a rasgos complejos y mejorar la imputación de datos genéticos faltantes.

La aplicación de algoritmos de IA en la imputación reduce costes de genotipado y mejora la precisión predictiva.

3.2. Integración genotipo-fenotipo-ambiente

Los modelos actuales no se limitan al genoma, integran: datos fenotípicos multilocales, Información ambiental (temperatura, pluviometría, suelo) e históricos productivos.

Este enfoque, conocido como integración G×E (genotipo por ambiente), resulta especialmente relevante en regiones atlánticas donde la variabilidad interanual es elevada.

4. NGT, PRECISIÓN GENÉTICA EN LÍNEAS PARENTALES

Mientras la IA optimiza la selección combinatoria, las NGT permiten intervenir directamente en el genoma de las líneas parentales.

Herramientas de edición dirigida como CRISPR posibilitan modificar secuencias específicas sin introducir genes exógenos. Esto supone:

- ajustar genes asociados a tolerancia a sequía o calor,
- mejorar resistencia a patógenos concretos,
- optimizar arquitectura de planta o eficiencia en uso de nitrógeno.

A diferencia de la mutagénesis química o los retrocruzamientos sucesivos, la edición dirigida actúa sobre genes concretos previamente identificados. En la mejora de maíz híbrido, esta tecnología permite refinar parentales estratégicos ya seleccionados por modelos predictivos.

5. MARCO REGULATORIO EUROPEO

El desarrollo de NGT en Europa está condicionado por el marco legislativo. En diciembre de 2025, la Comisión Europea, el Consejo de la Unión Europea y el Parlamento Europeo alcanzaron un acuerdo provisional que diferencia determinadas NGT de los organismos modificados genéticamente tradicionales cuando las modificaciones son comparables a mutaciones naturales.

Este avance regulatorio es clave para:

- permitir innovación dentro del mercado europeo,
- reducir dependencia tecnológica externa,
- garantizar trazabilidad y seguridad.

Para empresas europeas de semillas, supone un entorno más predecible para integrar estas herramientas.

6. SINERGIA IA + NGT EN HÍBRIDOS DE MAÍZ

La verdadera transformación surge de la integración de ambas tecnologías.

6.1. Secuencia estratégica

- Genotipado avanzado de parentales.
- Modelización predictiva de combinaciones.
- Selección de poblaciones prioritarias. ►►



Spectrum®

El socio imprescindible
para que todo encaje.

 **BASF**

We create chemistry

Use los productos fitosanitarios de manera segura. Lea siempre la etiqueta y la información sobre el producto antes de usarlo.
Por favor, observe las advertencias, las frases y los símbolos de peligro indicados en ella.

- Edición dirigida de rasgos específicos en líneas clave.
- Validación en campo.
La IA decide qué cruzar y las NGT optimizan qué modificar. El campo confirma el resultado.

6.2. Impacto en tiempos de desarrollo
Tradicionalmente, el desarrollo de un híbrido comercial puede requerir varios ciclos largos de evaluación. Con selección predictiva:

- se reduce el número de generaciones necesarias,
- se incrementa la probabilidad de éxito en fases tempranas,
- se acorta el tiempo hasta lanzamiento comercial.

7. APLICACIÓN EN GALICIA Y CORNISA CANTÁBRICA

Galicia presenta particularidades agronómicas relevantes: elevada pluviosidad, riesgo de encamado, presión fúngica, estrés hídrico y ventanas de cosecha ajustadas.

La modelización predictiva permite incorporar variables ambientales específicas de la región, priorizando híbridos con mayor estabilidad en campañas húmedas, mejor comportamiento frente a estrés hídrico, tallos fuertes y con buena sanidad, mejor *stay green* y mejor calidad alimentaria.

8. REDUCCIÓN DE LA COMPLEJIDAD COMBINATORIA

La transición de miles de combinaciones potenciales a un número manejable de híbridos candidatos supone una mayor eficiencia experimental, menor dispersión de recursos y mejor asignación presupuestaria.

En términos prácticos, pasar de 5.000 poblaciones virtuales a 150 reales transforma la escala del programa. Posteriormente, solo 10-20 híbridos avanzan a fases precomerciales y finalmente 1-3 llegan al mercado. Este embudo no elimina variabilidad genética, la racionaliza.

9. SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA PRODUCTIVA

El impacto de estas tecnologías no se limita a rendimiento absoluto. También influye en la estabilidad interanual, la eficiencia en uso de insumos, la reducción de pérdidas por estrés climático y la optimización del uso de fertilizantes.

Una mejora genética más precisa contribuye a una agricultura más sostenible.



► LA MEJORA HÍBRIDA SE ORIENTA HACIA UN MODELO DONDE LA INCERTIDUMBRE SE REDUCE PROGRESIVAMENTE GRACIAS A LA ACUMULACIÓN Y ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS

10. REORGANIZACIÓN DE I+D

La integración de IA y NGT implica cambios organizativos:

- equipos multidisciplinares (genetistas, bioinformáticos, agrónomos),
 - inversión en infraestructuras de datos,
 - desarrollo de competencias digitales.
- La mejora genética del siglo XXI requiere tanto capacidad biológica como analítica.

11. PERSPECTIVA DE FUTURO

La tendencia apunta hacia:

- mayor automatización del análisis de datos,
- integración de sensores de campo en tiempo real,
- modelos predictivos dinámicos que se actualizan campaña tras campaña,
- mayor precisión en la edición genética.

La mejora híbrida se orienta hacia un modelo donde la incertidumbre se reduce progresivamente gracias a la acumulación y análisis inteligente de datos. ■

CONCLUSIONES

- La obtención de híbridos de maíz está evolucionando desde un enfoque predominantemente empírico hacia un sistema predictivo basado en datos masivos y edición genética de precisión.
- La inteligencia artificial permite gestionar la complejidad combinatoria y priorizar cruza-mientos con mayor probabilidad de éxito.

- Las nuevas técnicas genómicas aportan herramientas para optimizar rasgos específicos en líneas parentales estratégicas.
- En conjunto, estas tecnologías permiten desarrollar híbridos más adaptados, más estables y eficientes, respondiendo a los desafíos productivos y climáticos actuales.
- La mejora genética del maíz ya no consiste únicamente en cruzar y observar. Consiste en anticipar, modelizar y decidir con fundamento científico.
- En un contexto agrícola cada vez más exigente, anticiparse no es una ventaja: es una necesidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Europea (2025). Propuesta de regulación sobre Nuevas Técnicas Genómicas en agricultura. Bruselas.
- Consejo de la Unión Europea (2025). Mandato de negociación relativo a las NGT y su aplicación en el sector agroalimentario europeo.
- Parlamento Europeo (2025). Acuerdo provisional sobre el marco legislativo para NGT.
- Jinek, M. et al. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), 816-821.
- NRGene (2024). Advances in maize genotyping and AI-based imputation solutions for hybrid breeding programs. Nota técnica corporativa.
- Benoît Pétiard (2025). AI accelerates varietal selection. Intervención institucional en video. MAS Seeds.
- MAS Seeds (2025). Investigación y desarrollo en mejora genética de maíz híbrido. Documentación técnica corporativa.
- Nicolas Ranc (2025). AI accelerates varietal selection. Intervención institucional en video. MAS Seeds.



SUMITOMO CHEMICAL

Creative Hybrid Chemistry
For a Better Tomorrow

Proliant®

FITORREGULADOR

GRÁNULOS SOLUBLES EN AGUA (SG)

Fitorregulador que maximiza el rendimiento del maíz.



WE
CHANGE
THE
GAME™



Y su filial
KENOGARD
CULTIVAMOS LA INVESTIGACIÓN • 研究深耕
www.kenogard.es