



Intelixencia artificial e novas técnicas xenómicas na obtención de híbridos de millo: eficiencia predictiva ao servizo do rendemento

Nas seguintes liñas abordo como a modelización predictiva, o xenotipado avanzado e a edición dirixida do xenoma permiten optimizar a elección de parentais, reducir o número de combinacións avaliadas en campo e acelerar a obtención de híbridos adaptados a condicións agroclimáticas coma as de Galicia.

Vanesa Castro

Responsable de Vendas norte de España en MAS Seeds

A mellora xenética do millo híbrido enfróntase a unha crecente complexidade derivada do cambio climático, a presión sanitaria e a necesidade de maximizar a eficiencia produtiva. Neste contexto, a integración de intelixencia artificial (IA) e novas técnicas xenómicas (NXT) está a transformar profundamente o proceso de selección xenética.

1. O HÍBRIDO DE MILLO: UN EXERCICIO DE OPTIMIZACIÓN XENÉTICA

O millo híbrido baséase na combinación de dúas liñas parentais homocigóticas que, ao cruzarse,

xeran descendencia con vigor híbrido ou heterose. Este fenómeno permite obter:

- maior rendemento,
- mellor estabilidade produtiva, maior tolerancia a estrés abiótico e biótico,
- uniformidade agronómica.

Non obstante, o proceso para identificar as combinacións óptimas é extremadamente complexo. Un programa de mellora pode manexar entre 5.000 e 10.000 combinacións iniciais de proxenitores. Se se consideran todas as posibles recombinacións xenéticas, o número de individuos distintos pode superar os tres millóns.

Avaliar experimentalmente todas estas combinacións é técnica e economicamente inviable. O mellorador debe, por tanto, anticiparse: xerar variabilidade, pero seleccionar de forma estratéxica só aquelas combinacións con maior probabilidade de éxito en campo.

Historicamente, esta selección apoiábase en experiencia acumulada, ensaios multilocais e análises estatísticas convencionais. Hoxe, o volume de datos dispoñibles permite un salto cualitativo: a transición cara a unha mellora xenética predictiva.

2. INTELIXENCIA ARTIFICIAL APLICADA Á SELECCIÓN DE HÍBRIDOS

A IA non substitúe o mellorador, pero amplifica a súa capacidade de decisión. A súa principal achega en millo híbrido sitúase en tres niveis:

2.1. Modelización de poboacións virtuais

A partir de datos xenómicos de liñas parentais e datos fenotípicos históricos, desenvólvense modelos capaces de:

- simular miles de poboacións virtuais derivadas de posibles cruzamentos,
- estimar o rendemento esperado baixo diferentes escenarios ambientais,
- predicir estabilidade e resposta fronte ao estrés hídrico ou térmico.



▶ O RESULTADO OPERATIVO É UNHA REDUCIÓN DRÁSTICA DO NÚMERO DE CRUZAMENTOS REAIS, PASANDO DE 5.000 POBOACIÓNS VIRTUAIS A 150 POBOACIÓNS CONSTRÚIDAS E AVALIADAS NO CAMPO



Na práctica, isto permite pasar de aproximadamente 5.000 poboacións simuladas a unhas 150 poboacións reais que se construírán e avaliarán en campo. O filtro ocorre antes do cruzamento físico. Este cambio é estrutural, xa que se traslada a fase exploratoria do campo ao modelo matemático.

2.2. Predición do valor combinatorio

En mellora híbrida, non só importa o rendemento individual de cada parental, senón a súa capacidade combinatoria. A IA permite estimar valor combinatorio xeral, valor combinatorio específico e interaccións epistáticas complexas. O resultado é unha priorización obxectiva baseada

en datos masivos, reducindo o compoñente aleatorio do proceso.

O enfoque de modelización predictiva foi explicado polo miúdo por **Benoît Pétiard**, director de I+D de MAS Seeds. Na súa intervención institucional sobre intelixencia artificial aplicada á mellora vexetal, Pétiard describe con claridade o reto combinatorio do ▶

masseeds®
ACT TOGETHER FOR A CHANGING AGRICULTURE

ACT TOGETHER
FOR A CHANGING AGRICULTURE

YouTube Facebook Instagram icons

www.masseeds.es

Distribuidor oficial **delagro®**



► O OBXECTIVO É DESENVOLVER MODELOS CAPACES DE SIMULAR VIRTUALMENTE ESAS POBOACIÓNS E PREDICIR O SEU RENDEMENTO AGARDADO ANTES DE CONSTRUÍLAS FÍSICAMENTE

melloramento híbrido: “O que adoita empezar como miles de novos proxenitores, entre 5.000 e 10.000 posibles combinacións, simplemente non se pode xestionar de forma operativa. Se avaliásemos todas as combinacións posibles, estaríamos falando de máis de tres millóns de individuos distintos.”

O obxectivo é desenvolver modelos capaces de simular virtualmente esas poboacións e predicir o seu rendemento esperado antes de construílas fisicamente. Deste xeito, o mellorador recibe información cuantitativa que lle permite clasificar poboacións con maior probabilidade de éxito.

O resultado operativo é unha redución drástica do número de cruzamentos reais, pasando de 5.000 po-

boacións virtuais a 150 poboacións construídas e avaliadas en campo.

Este enfoque non elimina o ensaio experimental, senón que o racionaliza e o fai estratexicamente máis eficiente.

2.3. Optimización de recursos

Reducir o número de combinacións reais implica:

- menor superficie experimental,
- menor custo de xenotipado,
- ciclos de avaliación máis curtos,
- maior velocidade de innovación.

Nun cultivo coma o millo, onde cada campaña representa un ano completo de avaliación, a redución de ciclos ten impacto directo en competitividade.

3. XENOTIPADO AVANZADO E ANÁLISE MASIVA DE DATOS

A eficacia da IA depende da calidade dos datos xenéticos. Neste ámbito, a colaboración con empresas especializadas en xenómica permitiu optimizar o xenotipado en programas de millo.

3.1. Paneis SNP personalizados

O uso de paneis de polimorfismos dun solo nucleótido (SNP) específicos para o xermoplasma do programa permite caracterizar con precisión cada liña parental, identificar variantes asociadas a trazos complexos e mellorar a imputación de datos xenéticos faltantes. A aplicación de algoritmos de IA na imputación reduce custos de xenotipado e mellora a precisión predictiva.

3.2. Integración xenotipo-fenotipo-ambiente

Os modelos actuais non se limitan ao xenoma senón que integran datos fenotípicos multilocais, información ambiental (temperatura, pluviosimetría, solo...) e históricos produtivos.

Este enfoque, coñecido como integración G×E (xenotipo por ambiente), resulta especialmente relevante en rexións atlánticas onde a variabilidade interanual é elevada.

4. NXT, PRECISIÓN XENÉTICA EN LIÑAS PARENTAIS

Mentres a IA optimiza a selección combinatoria, as NXT permiten intervir directamente no xenoma das liñas parentais. Ferramentas de edición dirixida como CRISPR posibilitan modificar secuencias específicas

sen introducir xenes exógenos. Isto supón:

- axustar xenes asociados a tolerancia a seca ou calor,
- mellorar resistencia a patóxenos concretos,
- optimizar arquitectura de planta o eficiencia en uso de nitróxeno.

A diferenza da mutaxénese química ou os retrocruzamentos sucesivos, a edición dirixida actúa sobre xenes concretos previamente identificados. Na mellora de millo híbrido, esta tecnoloxía permite refinar parentais estratéxicos xa seleccionados por modelos predictivos.

5. MARCO REGULATORIO EUROPEO

O desenvolvemento de NXT en Europa está condicionado polo marco legislativo. En decembro de 2025, a Comisión Europea, o Consello da Unión Europea e o Parlamento Europeo alcanzaron un acordo provisional que diferencia determinadas NXT dos organismos modificados xeneticamente tradicionais cando as modificacións son comparables a mutacións naturais.

Este avance regulatorio é clave para:

- permitir innovación dentro do mercado europeo,
- reducir dependencia tecnolóxica externa,
- garantir trazabilidade e seguridade.

Para empresas europeas de sementes, supón un espazo máis predicible para integrar estas ferramentas.

6. SINERXIA IA + NXT EN HÍBRIDOS DE MILLO

A verdadeira transformación xorde da integración de ambas as tecnoloxías.

6.1. Secuencia estratéxica

- Xenotipado avanzado de parentais.
- Modelización predictiva de combinacións.
- Selección de poboacións prioritarias.
- Edición dirixida de trazos específicos en liñas clave.
- Validación en campo. ►►



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.

A IA decide que cruzar e as NXT optimizan que modificar. O campo confirma o resultado.

6.2. Impacto en tempos de desenvolvemento

Tradicionalmente, o desenvolvemento dun híbrido comercial pode requirir varios ciclos longos de avaliación. Con selección predictiva:

- redúcese o número de xeracións necesarias,
- incrementáase a probabilidade de éxito en fases temperás,
- acúrtase o tempo ata lanzamento comercial.

7. APLICACIÓN EN GALICIA E CORNIXA CANTÁBRICA

Galicia presenta particularidades agromómicas relevantes: elevada pluviosimetría, risco de encamado, presión fúnica, estrés hídrico e ventás de colleita axustadas.

A modelización predictiva permite incorporar variables ambientais específicas da rexión, priorizando híbridos con maior estabilidade en campañas húmidas, mellor comportamento fronte a estrés hídrico, talos fortes e con boa sanidade, mellor *stay green* e mellor calidade alimentaria.

8. REDUCCIÓN DA COMPLEXIDADE COMBINATORIA

A transición de miles de combinacións potenciais a un número manexable de híbridos candidatos supón unha maior eficiencia experimental, menor dispersión de recursos e mellor asignación orzamentaria.

En termos prácticos, pasar de 5.000 poboacións virtuais a 150 reais transforma a escala do programa. Posteriormente, só 10-20 híbridos avanzan a fases precomerciais e finalmente 1-3 chegan ao mercado. Este embudo non elimina a variabilidade xenética, racionalízala.

9. SOSTIBILIDADE E EFICIENCIA PRODUTIVA

O impacto destas tecnoloxías non se limita ao rendemento absoluto. Tamén inflúe na estabilidade interanual, a eficiencia en uso de insumos, a redución de perdas por estrés climático e a optimización do uso de fertilizantes. Unha mellora xenética máis precisa contribúe a unha agricultura máis sostible.



► A MELLORA HÍBRIDA ORIENTÁSE CARA A UN MODELO ONDE A INCERTEZA SE REDUCE PROGRESIVAMENTE GRAZAS Á ACUMULACIÓN E ANÁLISE INTELIXENTE DE DATOS

10. REORGANIZACIÓN DE I+D

A integración de IA e NXT implica cambios organizativos:

- equipos multidisciplinares (xenetistas, bioinformáticos, agrónomos),
- investimento en infraestruturas de datos,
- desenvolvemento de competencias dixitais.

A mellora xenética do século XXI require tanto capacidade biolóxica coma analítica.

11. PERSPECTIVA DE FUTURO

A tendencia apunta cara a:

- maior automatización da análise de datos,
- integración de sensores de campo en tempo real,
- modelos predictivos dinámicos que se actualizan campaña tras campaña, maior precisión na edición xenética.

A mellora híbrida orientáase cara a un modelo onde a incerteza se reduce progresivamente grazas á acumulación e análise intelixente de datos. ■

CONCLUSIÓN

- A obtención de híbridos de millo está a evolucionar desde un enfoque predominantemente empírico cara a un sistema predictivo baseado en datos masivos e edición xenética de precisión.
- A intelixencia artificial permite xestionar a complexidade combinatoria e priorizar cruzamentos con maior probabilidade de éxito.
- As novas técnicas xenómicas achegan ferramentas para optimizar trazos específicos en liñas parentais estratéxicas.

- En conxunto, estas tecnoloxías permiten desenvolver híbridos máis adaptados, máis estables e eficientes, respondendo aos desafíos produtivos e climáticos actuais.
- A mellora xenética do millo xa non consiste unicamente en cruzar e observar. Consiste en anticipar, modelizar e decidir con fundamento científico.
- Nun contexto agrícola cada vez máis esixente, anticiparse non é unha vantaxe: é unha necesidade.

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 vídeo. 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 vídeo. 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