Inteligencia artificial y gestión adaptativa en el agro argentino: una alianza estratégica para reducir la incertidumbre cognitiva

Artificial Intelligence and Adaptive Management in Argentine Agriculture: A Strategic Alliance for Reducing Cognitive Uncertainty

Recibido: diciembre 2025
Evaluado: enero 2026
Aprobado: enero 2026

Karina Cornejo[1]
INTA-CIEP, Argentina
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-9884-6462

1 Economista Industrial por la Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina. Investigadora del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-CIEP), Argentina. Correo electrónico: cornejo.karina@inta.gob.ar. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-9884-6462.

RESUMEN

Introducción: La incorporación de sistemas de inteligencia artificial en el sector agropecuario plantea nuevas oportunidades para mejorar los procesos de decisión en contextos caracterizados por incertidumbre climática, económica, biológica y territorial. Sin embargo, la interacción entre la racionalidad humana y la racionalidad algorítmica genera desafíos cognitivos que condicionan la apropiación tecnológica por parte de los productores. *Metodología:* La investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo, exploratorio y analítico, sustentado en el análisis de fuentes institucionales, literatura académica especializada y evidencia internacional comparada, complementado con un ejercicio prospectivo orientado a identificar escenarios de evolución tecnológica en el sector agropecuario. *Resultados:* Los hallazgos muestran que la adopción de inteligencia artificial predictiva continúa siendo parcial y heterogénea, concentrándose principalmente en explotaciones de mayor escala. Asimismo, se identifican barreras asociadas a la opacidad algorítmica, la desconfianza tecnológica y la percepción de pérdida de control sobre la toma de decisiones. *Conclusiones:* Se propone un modelo conceptual de inteligencia híbrida adaptativa que integra análisis algorítmico, conocimiento experto local y herramientas prospectivas para reducir la incertidumbre cognitiva sin desplazar al productor del centro de la gestión productiva.

Palabras clave: inteligencia artificial, agricultura, incertidumbre cognitiva, economía agrícola, prospectiva.

ABSTRACT

Introduction: The incorporation of artificial intelligence systems into the agricultural sector creates new opportunities to improve decision-making processes in contexts characterized by climatic, economic, biological, and territorial uncertainty. However, the interaction between human rationality and algorithmic rationality generates cognitive challenges that influence technological appropriation among farmers. *Methodology:* The research adopted a qualitative, exploratory, and analytical approach based on institutional sources, specialized academic literature, and international comparative evidence, complemented by a foresight exercise aimed at identifying future technological development scenarios within agricultural systems. *Results:* Findings indicate that the adoption of predictive artificial intelligence remains partial and uneven, being concentrated primarily in larger-scale farming operations. Additional barriers were identified, including algorithmic opacity, technological distrust, and perceived loss of decision-making control. *Conclusions:* The study proposes a conceptual model of adaptive hybrid intelligence that

combines algorithmic analysis, local expert knowledge, and foresight tools to reduce cognitive uncertainty while preserving farmers' central role in productive decision-making.

Keywords: artificial intelligence, agriculture, cognitive uncertainty, agricultural economics, foresight.

INTRODUCCIÓN

El sector agrícola argentino atraviesa un proceso de transformación tecnológica impulsado por la digitalización, la automatización y la creciente incorporación de sistemas de inteligencia artificial (IA) en la toma de decisiones productivas. A diferencia de otros sectores económicos, esta transformación se desarrolla en un contexto de elevada incertidumbre climática, biológica y económica, agravada por la naturaleza parcialmente irreversible de muchas decisiones adoptadas a lo largo del ciclo productivo agropecuario. En los sistemas de agricultura extensiva orientados a la producción de granos, principalmente soja, maíz y trigo, decisiones como el momento de la siembra, la aplicación de insumos o las estrategias de cosecha generan efectos difícilmente reversibles en el corto plazo, lo que incrementa la aversión al riesgo y condiciona la adopción de tecnologías avanzadas (Ramognini, 2015).

Este proceso se manifiesta de manera desigual en el territorio argentino. Mientras la región pampeana presenta mayores niveles de conectividad, capitalización y adopción de herramientas digitales, las regiones extrapampeanas enfrentan rezagos estructurales asociados a la infraestructura, la escala productiva y el acceso a tecnologías. No obstante, más allá de estas disparidades materiales, ambas regiones comparten una barrera menos visible pero altamente relevante: una brecha cognitiva en la toma de decisiones tecnológicas, expresada en la desconfianza hacia los sistemas algorítmicos, la dificultad para interpretar recomendaciones automatizadas y la percepción de pérdida de control sobre decisiones estratégicas del proceso productivo.

Desde una perspectiva teórica, esta situación puede comprenderse a partir de la interacción entre productores que operan bajo condiciones de racionalidad limitada (Simon, 1957; Kahneman, 2011) y sistemas de inteligencia artificial caracterizados por una racionalidad estadística compleja, capaces de procesar grandes volúmenes de datos, pero con una comprensión limitada de los

contextos productivos y territoriales. Esta fricción genera una forma específica de incertidumbre cognitiva que afecta la confianza, dificulta la apropiación tecnológica sostenida y reduce la eficacia de los procesos de adopción de herramientas de IA predictiva en el agro.

En este marco, la pregunta que guía el presente trabajo es: ¿cómo influye esta incertidumbre cognitiva en la adopción de sistemas de inteligencia artificial predictiva en el agro argentino y de qué manera puede abordarse mediante un enfoque de inteligencia híbrida adaptativa? El objetivo general consiste en analizar la relación entre las percepciones de los productores agrícolas y los sistemas inteligentes en la toma de decisiones productivas, con el propósito de proponer un modelo de inteligencia híbrida que integre el juicio humano experto con el análisis algorítmico contextualizado.

El estudio se circunscribe al período 2018-2025 y se focaliza en sistemas agrícolas extensivos de producción de granos en regiones pampeanas y extrapampeanas argentinas, incorporando una perspectiva comparada con antecedentes internacionales, particularmente de Estados Unidos y Europa. Su principal aporte radica en la formulación conceptual de un modelo de inteligencia híbrida adaptativa, articulado con herramientas de la prospectiva anglosajona, como el análisis de drivers, tendencias y señales de cambio, orientado a fortalecer la gobernanza de las decisiones tecnológicas en contextos de alta incertidumbre. Desde esta perspectiva, la transformación digital del agro no se concibe como un proceso de automatización sustitutiva, sino como una construcción progresiva de confianza y sentido entre productores y sistemas inteligentes.

FUNDAMENTACIÓN

La transformación digital del sector agropecuario ha sido abordada desde múltiples enfoques teóricos orientados a explicar tanto los procesos de adopción tecnológica como las resistencias que emergen en contextos productivos caracterizados por altos niveles de incertidumbre. Sin embargo, una parte importante de esta literatura tiende a analizar la incorporación de tecnologías digitales y, más recientemente, de sistemas de inteligencia artificial (IA), desde perspectivas predominantemente tecnológicas o económicas, asumiendo implícitamente que una mayor disponibilidad de datos, modelos y herramientas conduce de manera casi automática a mejores decisiones productivas.

cc BY NC SA

La evidencia empírica demuestra que esta relación no es lineal, particularmente cuando se traslada a contextos agroproductivos reales, donde los decisores enfrentan restricciones cognitivas, institucionales y territoriales que condicionan la apropiación efectiva y el uso significativo de dichas tecnologías (Pape y Speelman, 2020).

En economías con una fuerte base agraria, caracterizadas por una elevada dependencia de commodities, una marcada heterogeneidad productiva y profundas desigualdades regionales, la adopción de sistemas de IA no puede comprenderse únicamente como un problema de eficiencia técnica o de rentabilidad esperada. Por el contrario, se trata de un proceso atravesado por percepciones de riesgo, confianza, legitimidad y sentido, que configuran una forma específica de incertidumbre cognitiva en la toma de decisiones. En este marco, el presente trabajo articula tres ejes conceptuales centrales: (i) la racionalidad limitada en la toma de decisiones bajo incertidumbre; (ii) la adopción tecnológica y la racionalidad algorítmica asociada a los sistemas de IA en el agro; y (iii) los aportes de la prospectiva anglosajona como herramienta para la gestión de la incertidumbre y la gobernanza tecnológica. A partir de esta articulación, se fundamenta la propuesta de un modelo de inteligencia híbrida adaptativa orientado a reducir la incertidumbre cognitiva en contextos agroproductivos complejos.

La teoría de la racionalidad limitada, desarrollada por Herbert Simon (1957), constituye un punto de partida fundamental para comprender la toma de decisiones en contextos complejos e inciertos. A diferencia del modelo económico neoclásico de racionalidad plena, que asume que los agentes son capaces de procesar toda la información disponible y maximizar funciones objetivo, Simon sostiene que los decisores reales operan bajo restricciones cognitivas, informacionales y temporales. En consecuencia, las decisiones no se orientan a la optimización, sino a la satisfacción, es decir, a la búsqueda de soluciones "suficientemente buenas" dadas las condiciones del entorno.

En el ámbito agropecuario argentino, estas limitaciones se ven acentuadas por la naturaleza biológica de los procesos productivos y por la variabilidad climática, factores que afectan la estabilidad y previsibilidad de las cosechas, así como por la volatilidad de los mercados, que incrementa los riesgos de precios e ingresos para los productores (BCR, 2025). Los productores agrícolas toman decisiones estratégicas, como la selección de cultivos, el uso de insumos o la adopción de tecnologías, en escenarios donde la información es incompleta, ambigua y, en muchos

casos, contradictoria. En este sentido, la racionalidad limitada no representa una deficiencia individual, sino una condición estructural del proceso de toma de decisiones y una característica inherente al comportamiento humano.

Por otra parte, los aportes de la economía conductual, particularmente los trabajos de Tversky (1979) y Kahneman (2011), profundizan este enfoque al demostrar cómo las heurísticas y los sesgos cognitivos influyen sistemáticamente en la evaluación del riesgo y en la percepción de la incertidumbre. Fenómenos como la aversión a la pérdida, el exceso de confianza o el sesgo de disponibilidad adquieren especial relevancia en el sector agropecuario, donde las decisiones suelen implicar costos hundidos y consecuencias difíciles de revertir en el corto plazo. En este contexto, la adopción de nuevas tecnologías no depende únicamente de su rentabilidad esperada, sino también de la forma en que los productores interpretan la información disponible, confían en ella y le otorgan sentido.

Desde esta perspectiva, la racionalidad limitada permite explicar por qué, aun en entornos con una creciente disponibilidad de datos y herramientas digitales, persisten resistencias frente a la adopción de tecnologías avanzadas. La incorporación de sistemas de IA, lejos de eliminar la incertidumbre, puede introducir nuevas fuentes de complejidad cognitiva cuando las recomendaciones algorítmicas resultan opacas, difíciles de interpretar o desalineadas con la experiencia práctica de los productores. Esta tensión entre el conocimiento experto acumulado y las nuevas formas de racionalidad computacional constituye uno de los núcleos analíticos del presente trabajo y sienta las bases para el concepto de incertidumbre cognitiva desarrollado en las secciones siguientes.

La adopción de tecnologías digitales en el sector agropecuario ha sido ampliamente estudiada desde enfoques que combinan la economía de la innovación, los estudios organizacionales y los análisis territoriales. En particular, la incorporación de herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (*machine learning*, ML) se inscribe en una trayectoria más amplia de digitalización del agro, que incluye sensores remotos, agricultura de precisión, sistemas de apoyo a la decisión (DSS) y plataformas de gestión productiva (Wolfert et al., 2017; Klerkx, Jakku y Labarthe, 2019).

Diversos estudios señalan que la adopción de tecnologías basadas en IA no depende exclusivamente de su disponibilidad técnica o de su rentabilidad potencial, sino también de factores institucionales, cognitivos y contextuales (Eastwood, Klerkx y Nettle, 2019). En el sector agropecuario, estos factores adquieren especial relevancia debido a la heterogeneidad de los sistemas productivos, la dispersión territorial y la coexistencia de distintos niveles de desarrollo tecnológico. En este sentido, la literatura sobre adopción tecnológica destaca que la mera introducción de herramientas digitales no garantiza su apropiación efectiva ni su integración en los procesos de toma de decisiones (Rogers, 2003). Esto refuerza la idea de que la adopción constituye un proceso social, en el que se requieren modelos capaces de integrar el conocimiento local y la experiencia de los actores, más allá de la búsqueda exclusiva de eficiencia.

En el caso argentino, la evidencia empírica, como se profundizará en la sección de resultados, muestra una adopción desigual de tecnologías digitales avanzadas, incluso en contextos con alta disponibilidad tecnológica. Mientras la región pampeana presenta mayores niveles de conectividad, capitalización y uso de plataformas digitales, las regiones extrapampeanas enfrentan restricciones estructurales asociadas a la infraestructura, la escala productiva y el acceso a servicios tecnológicos (INTA, 2025; BID, 2022). No obstante, aun en entornos con mayores niveles de desarrollo tecnológico, la adopción de sistemas de IA predictiva continúa siendo marginal y se concentra principalmente en grandes explotaciones, lo que sugiere la existencia de barreras que trascienden los aspectos estrictamente técnicos.

La literatura especializada en AgTech señala que uno de los principales obstáculos para la adopción de modelos de *machine learning* (ML) en el agro radica en la brecha existente entre el funcionamiento interno de los algoritmos y la comprensión que los usuarios tienen de sus recomendaciones (Liakos et al., 2018; Kamilaris y Prenafeta-Boldú, 2018). Los modelos predictivos, aunque pueden ofrecer estimaciones precisas sobre rendimientos, riesgos climáticos o manejo de insumos, suelen operar como sistemas opacos o "cajas negras", lo que dificulta la construcción de confianza por parte de los productores. Esta opacidad algorítmica se traduce en una menor percepción de control y en un uso parcial o instrumental de las herramientas disponibles (Wachter y Mittelstadt, 2019; Wachter et al., 2021).

En este contexto, la adopción tecnológica no puede entenderse únicamente como un proceso de difusión de innovaciones, sino como una construcción social que involucra aprendizaje, confianza y legitimidad. Estudios recientes subrayan la necesidad de avanzar hacia enfoques de "IA explicable" y de diseño centrado en el usuario, especialmente en sectores donde las decisiones tienen consecuencias irreversibles y un alto impacto económico, como ocurre en la producción agropecuaria (Arrieta et al., 2020). Sin embargo, incluso estos enfoques resultan insuficientes si no se articulan con el conocimiento local y la experiencia práctica de los decisores.

Desde esta perspectiva, las brechas territoriales en la adopción de IA en el agro argentino no solo reflejan desigualdades en infraestructura y capital, sino también diferencias en capacidades cognitivas, institucionales y organizacionales. La persistencia de estas brechas refuerza la necesidad de desarrollar modelos alternativos de integración tecnológica que reconozcan la racionalidad limitada de los decisores humanos y articulen el potencial del ML con mecanismos de retroalimentación contextual. Esto sienta las bases para esquemas de inteligencia híbrida adaptativa orientados a promover una adopción tecnológica más inclusiva, sostenible y contextualizada.

La prospectiva constituye un conjunto de enfoques orientados a anticipar futuros posibles en contextos caracterizados por altos niveles de incertidumbre, complejidad y cambio estructural. A diferencia de los métodos predictivos tradicionales, la prospectiva no busca pronosticar un único futuro, sino explorar múltiples trayectorias plausibles a partir de la identificación de factores clave que condicionan la evolución de un sistema (Miles et al., 2016). En este sentido, la denominada prospectiva anglosajona se distingue por su carácter pragmático y orientado a la toma de decisiones, priorizando el análisis de *drivers* de cambio, tendencias emergentes y señales tempranas sobre los ejercicios formales de modelización determinista (Ramírez y Wilkinson, 2016).

En contextos productivos como el agropecuario, donde las decisiones se adoptan bajo condiciones de elevada incertidumbre, la prospectiva ofrece un marco conceptual complementario a los enfoques basados exclusivamente en datos históricos. Mientras que los sistemas de inteligencia artificial y *machine learning* se apoyan en patrones del pasado para generar recomendaciones predictivas, la prospectiva permite incorporar dimensiones cualitativas,

institucionales y contextuales que resultan difíciles de capturar mediante modelos algorítmicos. De este modo, la prospectiva anglosajona contribuye a ampliar el horizonte decisional al integrar variables sociales, tecnológicas y territoriales en la evaluación de alternativas estratégicas.

La literatura destaca que uno de los principales aportes de la prospectiva aplicada a la toma de decisiones radica en su capacidad para estructurar la incertidumbre, hacer explícitos los supuestos subyacentes y facilitar procesos de aprendizaje colectivo (Sardar, 2010; Wilkinson et al., 2018). En lugar de concebir la incertidumbre como una fuente de error, la prospectiva la entiende como un insumo analítico que permite identificar riesgos, oportunidades y posibles puntos de inflexión. Esta lógica resulta particularmente relevante en el sector agropecuario, donde la irreversibilidad de determinadas decisiones productivas exige marcos de análisis que trasciendan la optimización de corto plazo.

Desde esta perspectiva, la articulación entre la prospectiva anglosajona y la inteligencia artificial plantea un desafío tanto conceptual como operativo. Si bien los modelos de IA ofrecen ventajas significativas en términos de procesamiento de información y generación de escenarios probabilísticos, su aplicación aislada puede reforzar una racionalidad instrumental centrada exclusivamente en la eficiencia, sin considerar adecuadamente los procesos de construcción de sentido y legitimidad que intervienen en la toma de decisiones humanas. La prospectiva, por el contrario, incorpora una dimensión reflexiva que permite contextualizar las recomendaciones algorítmicas, cuestionarlas y contrastarlas con el conocimiento experto y la experiencia local de los productores.

En este marco, la integración de herramientas prospectivas con sistemas de IA se presenta como una vía para avanzar hacia enfoques de inteligencia híbrida, en los cuales el análisis algorítmico y el juicio humano no compiten ni se sustituyen mutuamente. En el ámbito agropecuario, el productor ajusta las recomendaciones algorítmicas a partir de su experiencia local, mientras que los sistemas de IA pueden retroalimentarse de las decisiones reales adoptadas en contextos específicos. Este proceso puede verse fortalecido mediante la prospectiva, a través de la construcción y evaluación de escenarios futuros. La identificación de *drivers* tecnológicos, económicos y ambientales, junto con el monitoreo de señales débiles de cambio, contribuye a orientar el uso de modelos predictivos de *machine learning* dentro de trayectorias de desarrollo

más amplias y socialmente legitimadas. De esta manera, la prospectiva anglosajona no solo amplía la capacidad anticipatoria del decisor, sino que también fortalece la gobernanza de los procesos de adopción tecnológica en contextos caracterizados por elevados niveles de incertidumbre.

A partir de los enfoques analizados, este trabajo propone avanzar hacia un modelo de inteligencia híbrida adaptativa, entendido como la integración dinámica entre la racionalidad humana y la racionalidad algorítmica, mediada por mecanismos de retroalimentación contextual y herramientas prospectivas. A diferencia de enfoques como el *human-in-the-loop* (Dellermann et al., 2019) o la inteligencia aumentada, que suelen limitarse a instancias de supervisión humana ex post, la inteligencia híbrida adaptativa concibe la interacción humano-máquina como un proceso continuo de aprendizaje mutuo. En este modelo, los sistemas de IA no sustituyen el juicio del productor, sino que aprenden de sus decisiones, ajustes y señales de incertidumbre; a su vez, la prospectiva anglosajona aporta un marco para anticipar escenarios, identificar riesgos emergentes y evaluar trayectorias alternativas. De este modo, la inteligencia híbrida adaptativa permite reducir la incertidumbre cognitiva, fortalecer la confianza en las herramientas digitales y mejorar la gobernanza de los procesos de adopción tecnológica en contextos agroproductivos complejos.

En síntesis, la literatura analizada muestra que ni la racionalidad humana ni la racionalidad algorítmica resultan suficientes, por sí solas, para abordar la complejidad decisional del agro contemporáneo. La articulación entre racionalidad limitada, inteligencia artificial y prospectiva anglosajona ofrece una base conceptual sólida para el desarrollo de enfoques híbridos orientados a una adopción tecnológica más inclusiva, contextualizada y sostenible. A partir de los enfoques examinados, la Tabla 1 sintetiza los principales supuestos, fortalezas y limitaciones de los distintos enfoques de racionalidad aplicados a la toma de decisiones agropecuarias, y permite situar conceptualmente la propuesta de inteligencia híbrida adaptativa desarrollada en este trabajo.

Tabla 1. Enfoques de racionalidad en la toma de decisiones agropecuarias

Enfoque	Supuestos clave	Fortalezas	Limitaciones	Implicancias para el agro argentino
Racionalidad limitada	Decisiones bajo restricciones cognitivas e informacionales	Explica comportamientos reales y aversión al riesgo	No incorpora asistencia algorítmica	Resistencia a IA predictiva, especialmente en regiones extrapampeanas
Racionalidad algorítmica	Optimización estadística basada en grandes volúmenes de datos	Alta capacidad predictiva y procesamiento	Opacidad y descontextualización	Baja confianza en recomendaciones automatizadas
Inteligencia híbrida adaptativa (propuesta)	Aprendizaje mutuo humano-IA con apoyo prospectivo	Reduce incertidumbre cognitiva y mejora gobernanza	Requiere diseño institucional y validación empírica	Adopción más inclusiva y contextual en sistemas extensivos

Fuente: Elaboración propia con base en Simon (1957), Kahneman (2011), Wolfert et al. (2017) y literatura especializada.

A partir de la articulación entre la racionalidad limitada de los decisores humanos, las características de la racionalidad algorítmica de los sistemas de inteligencia artificial y los aportes de la prospectiva anglosajona para la gestión de la incertidumbre, este trabajo propone un modelo conceptual de inteligencia híbrida adaptativa. Dicho modelo sintetiza los principales mecanismos de interacción entre productores, sistemas algorítmicos y herramientas prospectivas, destacando los procesos de mediación cognitiva, retroalimentación contextual y aprendizaje mutuo que estructuran la adopción tecnológica en contextos agroproductivos caracterizados por elevados niveles de incertidumbre.

La propuesta integra dimensiones humanas, tecnológicas y prospectivas en un esquema dinámico de toma de decisiones, donde el conocimiento experto de los productores se complementa con las capacidades analíticas de los sistemas de inteligencia artificial y con la construcción anticipatoria de escenarios. De esta manera, se busca superar las limitaciones asociadas tanto a la racionalidad exclusivamente humana como a la racionalidad puramente algorítmica, favoreciendo procesos de adopción tecnológica más contextualizados, confiables y sostenibles.

La Figura 1 presenta de forma esquemática este modelo conceptual, el cual opera como marco integrador para el análisis desarrollado en las secciones siguientes y como base para comprender los procesos de interacción que condicionan la incorporación de sistemas inteligentes en el agro argentino.

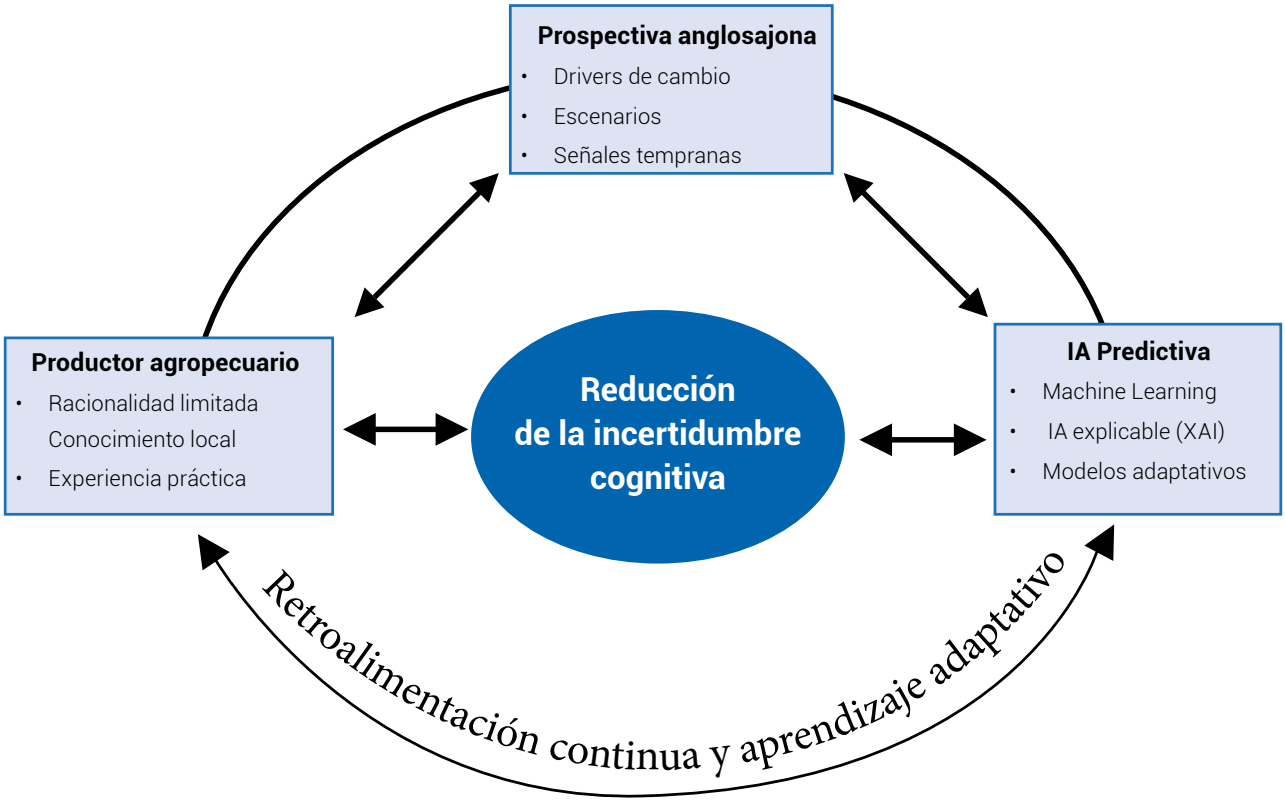


Figura 1. Modelo conceptual de inteligencia híbrida adaptativa para la mediación de la incertidumbre cognitiva en la toma de decisiones agropecuarias

Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Se adopta un enfoque cualitativo, exploratorio y analítico, adecuado para el estudio de fenómenos emergentes vinculados a la adopción de sistemas de inteligencia artificial (IA) en contextos agroproductivos caracterizados por elevados niveles de incertidumbre. El diseño es de tipo no experimental y se apoya exclusivamente en el análisis de fuentes secundarias, en correspondencia con la naturaleza conceptual y prospectiva del trabajo. La unidad de análisis corresponde al

ecosistema sociotecnológico del sector agropecuario argentino, entendido como el entramado de actores, tecnologías, instituciones y contextos territoriales que intervienen en los procesos de adopción tecnológica.

El estudio se focaliza en sistemas de agricultura extensiva orientados principalmente a la producción de granos —soja, maíz y trigo—, distinguiendo entre regiones pampeanas y extrapampeanas, e incorpora una perspectiva comparada con antecedentes internacionales, especialmente de Estados Unidos y Europa. El recorte temporal abarca el período 2018-2025, con el propósito de capturar la fase reciente de aceleración de la digitalización y del uso de herramientas basadas en inteligencia artificial en el sector agropecuario.

Las fuentes de información incluyen literatura académica especializada, informes institucionales de organismos nacionales e internacionales (INTA, BID, FAO y Joint Research Centre), documentos de política pública y datos sectoriales relacionados con la adopción tecnológica, la conectividad y el uso de herramientas digitales. La selección del corpus documental se realizó considerando criterios de pertinencia temática, relevancia institucional y disponibilidad de información pública verificable.

La estrategia de análisis combinó una matriz de análisis documental con un ejercicio prospectivo basado en el enfoque anglosajón. En una primera fase, se efectuó la codificación temática de las fuentes a partir de categorías analíticas derivadas del marco teórico, vinculadas con la racionalidad limitada, la adopción tecnológica, la opacidad algorítmica, la confianza y la gobernanza de la inteligencia artificial. Posteriormente, se desarrolló un análisis comparativo entre regiones y contextos productivos, complementado con la identificación de *drivers*, tendencias y señales de cambio relevantes para la incorporación de sistemas de IA predictiva en el agro.

El rigor metodológico se sustenta en tres criterios principales. En primer lugar, la validez interna se fortaleció mediante la triangulación de fuentes, integrando literatura académica, informes institucionales de organismos como INTA, BID, FAO y JRC, así como evidencia comparada internacional. En segundo lugar, la fiabilidad del ejercicio prospectivo se garantizó mediante la trazabilidad de los *drivers* identificados hacia las categorías analíticas definidas en el marco teórico —racionalidad limitada, opacidad algorítmica y gobernanza de la IA—, así como mediante

la construcción sistemática de escenarios siguiendo los lineamientos metodológicos de Ramírez y Wilkinson (2016). Finalmente, la validez externa se sustentó en la coherencia de los hallazgos con estudios desarrollados en economías agrarias comparables de América Latina, Europa y Estados Unidos.

Asimismo, se reconocen los alcances y limitaciones inherentes al carácter exploratorio del estudio y a su dependencia de fuentes secundarias. Si bien no se incorpora evidencia empírica primaria obtenida directamente de productores agropecuarios, el enfoque adoptado permite identificar patrones, tensiones y trayectorias plausibles de adopción tecnológica, además de fundamentar la propuesta conceptual de un modelo de inteligencia híbrida adaptativa como herramienta para la mediación de la incertidumbre cognitiva en los procesos de toma de decisiones agropecuarias.

De manera específica, el ejercicio de prospectiva anglosajona se desarrolló mediante un enfoque cualitativo estructurado, orientado a la toma de decisiones bajo incertidumbre. En una primera etapa se identificaron los *drivers* clave que condicionan la adopción de sistemas de inteligencia artificial predictiva en el agro argentino, a partir del análisis de fuentes institucionales y literatura especializada. Entre ellos se incluyeron variables tecnológicas, como la infraestructura digital, la conectividad y la gobernanza de los datos; variables organizacionales, como las capacidades internas y el acceso a asesoramiento especializado; variables cognitivas, asociadas a la confianza en la tecnología y a la comprensión de las recomendaciones algorítmicas; y variables contextuales relacionadas con la presión climática y los marcos institucionales vigentes.

En una segunda etapa, estos factores fueron analizados de manera integrada para explorar sus interacciones y tensiones más relevantes, dando lugar a la construcción de escenarios prospectivos plausibles. Entre ellos se consideraron escenarios de adopción inclusiva con gobernanza híbrida, adopción concentrada con ampliación de brechas tecnológicas y escenarios de resistencia tecnológica. Estos escenarios fueron utilizados como herramientas analíticas para interpretar trayectorias alternativas de incorporación tecnológica y para sustentar la propuesta de un modelo de inteligencia híbrida adaptativa orientado a fortalecer la confianza, la capacidad de aprendizaje y la gobernanza de la adopción de sistemas inteligentes en el agro argentino.

RESULTADOS

Los resultados del presente estudio derivan del análisis integrado de fuentes secundarias institucionales, literatura académica especializada y evidencia comparada internacional, sistematizados mediante una matriz de análisis documental y un ejercicio de prospectiva de enfoque anglosajón. En coherencia con el carácter exploratorio y analítico de la investigación, los hallazgos se presentan como patrones interpretativos, regularidades identificadas en la evidencia revisada y trayectorias plausibles de evolución, lo que permite comprender de qué manera la incertidumbre cognitiva condiciona la adopción de sistemas de inteligencia artificial (IA) predictiva en el agro argentino.

El análisis realizado evidencia una adopción heterogénea y territorialmente diferenciada de las tecnologías digitales en la agricultura extensiva argentina. La región pampeana presenta mayores niveles de conectividad, capitalización y utilización de herramientas de agricultura de precisión, mientras que las regiones extrapampeanas muestran una incorporación más incipiente de estas tecnologías, condicionada por restricciones estructurales relacionadas con la infraestructura, la escala productiva y el acceso a servicios tecnológicos especializados. En 2025, el uso de monitores de siembra supera el 79 % a nivel nacional, con una marcada concentración en la región pampeana, mientras que tecnologías como el piloto automático alcanzan tasas cercanas al 63 %, evidenciando brechas persistentes respecto de las regiones extrapampeanas (Ministerio de Economía, 2025). Estos resultados reflejan una amplia difusión de tecnologías instrumentales orientadas a asistir o automatizar tareas productivas, sin desplazar de manera significativa el control decisional del productor.

Sin embargo, la integración efectiva de sistemas de inteligencia artificial predictiva en los procesos de toma de decisiones continúa siendo limitada y se concentra principalmente en explotaciones agropecuarias de gran escala. Incluso en contextos con elevados niveles de digitalización y conectividad, la utilización de modelos algorítmicos orientados a la recomendación decisional presenta una adopción parcial y fragmentada. Este comportamiento sugiere la existencia de barreras que trascienden los condicionantes estrictamente infraestructurales o económicos y que se relacionan con aspectos cognitivos, organizacionales e institucionales.

En este contexto, el análisis permitió identificar un conjunto de *drivers* estratégicos que influyen de manera directa en la adopción de sistemas de IA predictiva. Entre ellos se destacan la infraestructura y la conectividad digital, la gobernanza de los datos, las capacidades organizacionales, la confianza en la tecnología, la presión climática y el contexto institucional. La interacción entre estos factores constituye un elemento central para comprender las diferencias observadas en los procesos de adopción tecnológica y los distintos niveles de apropiación de herramientas inteligentes por parte de los productores.

A partir de estos *drivers*, se construyeron tres escenarios prospectivos plausibles para la adopción de sistemas de IA predictiva en el agro argentino hacia el mediano plazo. Dichos escenarios no deben interpretarse como proyecciones deterministas, sino como instrumentos analíticos destinados a explorar trayectorias alternativas bajo distintos supuestos de evolución tecnológica, institucional y social. Su finalidad es contribuir a la comprensión de posibles configuraciones futuras del sistema agroproductivo y ofrecer elementos para la reflexión estratégica sobre la gobernanza de la transformación digital en el sector.

La Tabla 2 sintetiza los *drivers* identificados y los tres escenarios prospectivos construidos a partir de su análisis integrado, siguiendo la lógica metodológica propuesta por Ramírez y Wilkinson (2016). Esta síntesis permite visualizar las principales dinámicas que podrían favorecer o limitar la adopción de sistemas de inteligencia artificial predictiva, así como las implicaciones asociadas a diferentes trayectorias de desarrollo tecnológico en el agro argentino.

Tabla 2. Ruta prospectiva anglosajona: drivers clave y escenarios plausibles para la adopción de IA en el agro argentino (2025–2030)

Dimensión	Driver identificado	Escenario asociado	Implicancia para la gobernanza de IA
Tecnológica	Infraestructura, conectividad y gobernanza de datos	Adopción inclusiva	Alta conectividad e IA explicable habilitan adopción ampliada con gobernanza híbrida.
Organizacional	Capacidades internas y acceso a asesoramiento técnico	Adopción concentrada	Sin extensión técnica ni políticas redistributivas, la IA se concentra en grandes explotaciones, profundizando brechas.

continúa

CC BY NC SA

Dimensión	Driver identificado	Escenario asociado	Implicancia para la gobernanza de IA
Cognitiva	Confianza y comprensión de recomendaciones algorítmicas	Resistencia tecnológica	La opacidad algorítmica no resuelta deriva en uso marginal de IA y estancamiento de la transformación digital.
Contextual	Presión climática y marco institucional de políticas públicas	Los tres escenarios	La urgencia climática y el marco institucional condicionan la dirección e intensidad de cada trayectoria de adopción.

Fuente: Elaboración propia con base en Ramírez y Wilkinson (2016), INTA (2025) y BID (2022).

El análisis integrado de estos *drivers* evidencia que la incertidumbre cognitiva no constituye un fenómeno homogéneo; por el contrario, su intensidad y naturaleza varían en función de la dimensión predominante en cada contexto productivo. Esta variabilidad condiciona las trayectorias de adopción tecnológica y refuerza la pertinencia del modelo de inteligencia híbrida adaptativa propuesto en este trabajo.

El escenario de adopción inclusiva y gobernanza híbrida se caracteriza por una incorporación gradual de modelos de inteligencia híbrida adaptativa, en los cuales los sistemas de IA complementan el juicio humano mediante mecanismos de explicabilidad, retroalimentación contextual y aprendizaje compartido. Bajo este escenario, la adopción tecnológica tiende a extenderse más allá de los grandes productores, alcanzando a explotaciones medianas y a territorios extrapampeanos, favoreciendo procesos de apropiación tecnológica más equilibrados y sostenibles.

Por su parte, el escenario de adopción concentrada y ampliación de brechas describe una dinámica en la que los sistemas de IA predictiva son incorporados principalmente por explotaciones de gran escala con mayores capacidades de inversión y acceso a infraestructura avanzada. En este contexto, las ventajas asociadas a la digitalización se distribuyen de manera desigual, profundizando las brechas territoriales, tecnológicas y organizacionales existentes.

Finalmente, el escenario de resistencia tecnológica y estancamiento plantea una situación en la cual la incertidumbre cognitiva no es abordada de forma sistemática, lo que deriva en un uso marginal o meramente instrumental de las herramientas de IA. Como consecuencia, se limita su impacto potencial sobre la productividad, la competitividad y el desarrollo territorial, restringiendo las oportunidades de transformación tecnológica del sector.

DISCUSIÓN O PROPUESTA

Los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de sistemas de inteligencia artificial predictiva en el agro no elimina la incertidumbre inherente a la toma de decisiones productivas; por el contrario, puede transformarla en una forma específica de incertidumbre cognitiva. Esta se manifiesta a través de la desconfianza hacia los sistemas algorítmicos, las dificultades para interpretar recomendaciones automatizadas y la percepción de pérdida de control sobre decisiones estratégicas, especialmente en contextos productivos caracterizados por elevados niveles de irreversibilidad decisional, volatilidad climática y heterogeneidad territorial. En este marco, la inteligencia híbrida adaptativa se interpreta como un enfoque orientado a mejorar la calidad de las decisiones complejas, integrando el análisis algorítmico, el juicio experto y la construcción de sentido en los procesos decisionales.

Desde una perspectiva de impacto, los hallazgos dialogan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 y 12, al mostrar que la adopción efectiva de tecnologías avanzadas en el agro no depende exclusivamente de la disponibilidad de infraestructura digital, sino también de capacidades cognitivas, organizacionales e institucionales que posibiliten su apropiación significativa. Asimismo, el abordaje de la incertidumbre cognitiva asociada a la adopción de inteligencia artificial se vincula con el ODS 12, en tanto promueve decisiones productivas más informadas, contextualizadas y resilientes frente a perturbaciones climáticas y económicas, reforzando la necesidad de enfoques de innovación tecnológica territorialmente situados.

El análisis comparado permite contrastar las trayectorias de adopción observadas en economías agrícolas desarrolladas, particularmente en Europa y Estados Unidos, con las registradas en Argentina y otros países latinoamericanos. En las economías desarrolladas, la adopción de inteligencia artificial se sustenta en procesos previos de digitalización incremental, elevados niveles de capitalización y marcos institucionales relativamente estables. Sin embargo, incluso en estos

CC BY NC SA

contextos persisten brechas entre la disponibilidad tecnológica y su apropiación efectiva cuando las soluciones algorítmicas carecen de explicabilidad o de integración contextual, lo que limita la construcción de confianza por parte de los productores.

En el agro argentino, estas tensiones se ven amplificadas por una mayor heterogeneidad territorial, por la presencia de decisiones productivas con altos niveles de irreversibilidad y por una elevada exposición a shocks climáticos y de precios. En los sistemas extensivos pampeanos orientados a la producción de granos, la evidencia empírica reciente indica que la adopción de tecnologías de agricultura de precisión genera impactos productivos positivos, aunque heterogéneos según el cultivo y el contexto específico (Felici et al., 2025). Asimismo, los determinantes de la adopción exceden los incentivos económicos directos e incorporan variables asociadas al acceso a conectividad, al asesoramiento técnico, a la pertenencia a redes de productores y al acompañamiento institucional. Estos procesos de aprendizaje social y validación entre pares contribuyen significativamente a reducir la incertidumbre percibida en el uso de tecnologías instrumentales.

No obstante, los resultados del presente estudio indican que estos mecanismos presentan limitaciones en el caso de los sistemas de inteligencia artificial predictiva. La mayor opacidad algorítmica, la dificultad para interpretar recomendaciones automatizadas y la delegación parcial del juicio decisional restringen la transferencia de confianza entre productores, profundizando una brecha cognitiva que condiciona la adopción efectiva de estas tecnologías, incluso en regiones altamente tecnificadas.

Desde una perspectiva comparada, estos hallazgos sugieren que los enfoques de adopción tecnológica desarrollados en contextos europeos o norteamericanos no resultan plenamente transferibles a las economías agrarias latinoamericanas sin mediaciones cognitivas, territoriales e institucionales. En sistemas productivos basados en *commodities*, la introducción de modelos predictivos descontextualizados puede incluso amplificar la percepción de riesgo y reforzar comportamientos defensivos, limitando el impacto de los procesos de digitalización.

En este marco, el modelo de inteligencia híbrida adaptativa adquiere especial relevancia para el agro argentino y regional. Al articular inteligencia artificial, conocimiento experto local y herramientas de prospectiva estratégica, este enfoque se plantea como un mecanismo de mediación

cognitiva y territorial orientado a reducir la incertidumbre asociada a la adopción de IA predictiva, sin desplazar al productor del centro del proceso decisional. Desde esta perspectiva, la transformación digital del agro deja de concebirse como un proceso exclusivamente técnico para entenderse como un desafío de gobernanza cognitiva, condición necesaria para una adopción tecnológica sostenible, inclusiva y socialmente legitimada en los sistemas extensivos de producción de granos.

CONCLUSIONES

El presente estudio analizó la adopción de sistemas de inteligencia artificial predictiva en el agro argentino desde una perspectiva cognitiva, territorial y prospectiva, identificando la incertidumbre cognitiva como una barrera estructural para la apropiación tecnológica. A partir del análisis integrado de fuentes secundarias, evidencia institucional y escenarios prospectivos, se constató que la adopción de tecnologías avanzadas no se encuentra limitada únicamente por factores económicos o de infraestructura, sino también por la forma en que los productores interpretan, confían y otorgan sentido a las recomendaciones algorítmicas en contextos productivos caracterizados por la irreversibilidad decisional, la volatilidad climática y la heterogeneidad territorial.

Los resultados muestran que, aun en regiones con mayores niveles de disponibilidad tecnológica, como la región pampeana, la integración efectiva de modelos predictivos de inteligencia artificial continúa siendo parcial y se concentra en explotaciones de mayor escala. Por su parte, en las regiones extrapampeanas estas limitaciones se ven amplificadas por restricciones estructurales. En este contexto, la evidencia disponible confirma que los impactos productivos positivos de las tecnologías digitales no garantizan su adopción generalizada y que los factores cognitivos, relacionales e institucionales desempeñan un papel decisivo en dicho proceso.

El principal aporte del trabajo consiste en la formulación de un modelo de inteligencia híbrida adaptativa que articula la racionalidad algorítmica de los sistemas de inteligencia artificial con el conocimiento experto y contextual de los productores, mediado por herramientas de prospectiva estratégica. Este enfoque no busca sustituir la toma de decisiones humana ni eliminar la incertidumbre inherente a la actividad agropecuaria, sino hacerla gestionable, fortaleciendo la autonomía decisional, la confianza y la legitimidad de las tecnologías avanzadas.

cc BY NC SA

Desde una perspectiva comparada, el análisis evidencia que los enfoques de adopción tecnológica desarrollados en economías agrícolas centrales no resultan plenamente transferibles a contextos latinoamericanos sin la incorporación de mediaciones cognitivas, territoriales e institucionales. En sistemas extensivos basados en *commodities*, la gobernanza de la inteligencia artificial emerge como un desafío central que requiere integrar capacidades técnicas con procesos de aprendizaje, acompañamiento institucional y construcción de confianza.

Las implicaciones del estudio resultan relevantes para el diseño de políticas públicas, las instituciones de ciencia y tecnología y los actores del ecosistema AgTech. En particular, los hallazgos sugieren la necesidad de avanzar hacia estrategias de digitalización que incorporen explícitamente dimensiones cognitivas y organizacionales, promoviendo esquemas de inteligencia artificial explicable, mecanismos de retroalimentación humano-máquina y enfoques prospectivos orientados a la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

Para los organismos de ciencia y tecnología, esto implica repensar su papel no solo como generadores de innovaciones, sino también como mediadores cognitivos e institucionales en los procesos de adopción tecnológica. Finalmente, el carácter exploratorio del estudio abre oportunidades para futuras investigaciones empíricas orientadas a validar y operacionalizar el modelo propuesto mediante estudios de campo, metodologías participativas y ejercicios prospectivos con productores y tomadores de decisiones, contribuyendo a una transformación digital del agro más inclusiva, reflexiva y territorialmente contextualizada.

DECLARACIONES Y TRANSPARENCIA DEL ARTÍCULO

Ítem	Declaración
Agradecimientos	No aplica.
Declaración de conflicto de intereses	La autora declara que no existen relaciones personales, laborales o financieras que hayan podido influir de manera inapropiada en la elaboración de este artículo.
Contribución de la autora	Karina de Luján Cornejo participó en la concepción del estudio, el diseño metodológico, la ejecución de la investigación, la administración del proyecto, la gestión de los datos, el análisis de los resultados, la redacción del manuscrito original y la revisión final del documento. La autora es responsable del 100 % del contenido del artículo.

continúa

Ítem	Declaración
Información sobre financiación	Esta investigación no recibió apoyo económico de entidades públicas, privadas ni organizaciones sin ánimo de lucro.
Declaración sobre investigación con seres humanos / animales	Este artículo no reporta estudios empíricos con participantes humanos ni experimentación con animales.
Declaración sobre uso de datos de personas / consentimiento informado / protección de privacidad	No se utilizaron datos personales ni información proveniente de participantes humanos.
Descargo de responsabilidad	Las opiniones y afirmaciones presentadas en este artículo son responsabilidad exclusiva de la autora y derivan de su trabajo académico. No representan necesariamente la posición oficial de las instituciones o entidades relacionadas. La autora asume plena responsabilidad por los resultados, el análisis y el contenido del manuscrito.
Declaración sobre el uso ético de tecnologías de inteligencia artificial / herramientas asistidas por IA	Durante la elaboración de este manuscrito se utilizaron herramientas de inteligencia artificial (IA) con el fin de mejorar la claridad, coherencia y estilo del texto. La autora revisó cuidadosamente todo el contenido generado, realizó las modificaciones necesarias y asume plena responsabilidad sobre la versión final del documento. Ninguna decisión analítica, metodológica o interpretativa fue realizada exclusivamente por herramientas de IA. Esta declaración se presenta con el propósito de garantizar la transparencia y la integridad académica del trabajo.

DISCLOSURE BOX

Item	Statement
Acknowledgements	Not applicable.
Conflict of Interest Statement	The author declares that there are no personal, professional, or financial relationships that could have improperly influenced the preparation of this article.
Author Contributions	Karina de Luján Cornejo contributed to the conception of the study, methodological design, research execution, project administration, data management, analysis of results, preparation of the original manuscript, and final revision of the document. The author is responsible for 100% of the content of this article.
Funding Information	This research received no financial support from public agencies, private institutions, or non-profit organizations.
Research Ethics	This article does not report empirical studies involving human participants or experimentation with animals.

continúa

Item	Statement
Statement on the Use of Personal Data / Informed Consent / Privacy Protection	No personal data or information from human participants were used in this study.
Disclaimer	The opinions and statements presented in this article are the sole responsibility of the author and derive from her academic work. They do not necessarily represent the official position of any related institutions or entities. The author assumes full responsibility for the results, analysis, and content of the manuscript.
Statement on the Ethical Use of Artificial Intelligence Technologies / AI-Assisted Tools	Artificial intelligence (AI) tools were used during the preparation of this manuscript to improve the clarity, coherence, and style of the text. The author carefully reviewed all AI-generated content, made the necessary revisions, and assumes full responsibility for the final version of the document. No analytical, methodological, or interpretative decisions were made exclusively by AI tools. This statement is provided to ensure transparency and academic integrity.

REFERENCIAS

Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., García, S., Gil-López, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. Information Fusion, 58, 82–115. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2022). AgTech y transformación digital del agro en América Latina. BID. https://publications.iadb.org

Bolsa de Comercio de Rosario (BCR). (2025). Nubes en el horizonte: Incertidumbre climática y volatilidad de los mercados agrícolas. https://www.bcr.com.ar

Eastwood, C., Klerkx, L., & Nettle, R. (2017). Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation: A case study of precision agriculture. Journal of Rural Studies, 49, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.11.008

FAO. (2023). Artificial intelligence in agriculture: Status, challenges and opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

Felici, S., & Gatti, G. (2025). Evaluación de impacto de la adopción de agricultura de precisión en la región pampeana argentina. INTA. (En prensa).

Joint Research Centre. (2024). Digital transformation of agriculture and rural areas in the EU. Publications Office of the European Union. https://joint-research-centre.ec.europa.eu

Kahneman, D. (2011). Thinking, fast and slow. Farrar, Straus and Giroux.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica, 47(2), 263–291. https://doi.org/10.2307/1914185

Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0. NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences, 90–91, 100315. https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. Sensors, 18(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674

Miles, I., Saritas, O., & Sokolov, A. (2016). Foresight for science, technology and innovation. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32574-3

Ministerio de Economía de la Nación. (2025). Cadena de valor AgTech: Diagnóstico y perspectivas del ecosistema de tecnologías digitales aplicadas al agro argentino. Gobierno de la República Argentina.

Pape, J.-A., & Speelman, S. (2020). Assessing the adoption and impact of decision support systems in agriculture: A systematic review. Computers and Electronics in Agriculture, 178, 105256. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256

Ramírez, R., & Wilkinson, A. (2016). Strategic reframing: The Oxford scenario planning approach. Oxford University Press.

Rogers, E. M. (2003). Diffusion of innovations (5th ed.). Free Press.

Simon, H. A. (1957). Models of man: Social and rational. Wiley.

Wachter, S., & Mittelstadt, B. (2019). A right to reasonable inferences: Re-thinking data protection law in the age of big data and AI. Columbia Business Law Review, 2019(2), 494–620. https://doi.org/10.52214/cblr.v2019i2.3424

Wachter, S., Mittelstadt, B., & Russell, C. (2021). Why fairness cannot be automated. Computer Law & Security Review, 41, 105567. https://doi.org/10.1016/j.clsr.2021.105567