

Transformación digital en la gestión de la ganadería de precisión

Digital Transformation in the Management of Precision Livestock Farming

Elichiribehety, Lourdes

luuelichiribehety@gmail.com

Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata

Fernandez, Lucila

lucilafernandez.a@gmail.com

Morcela, Antonio (Director)

omorcela@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

RESUMEN

El trabajo aborda la transformación digital en la gestión de la ganadería bovina argentina, con punto de partida en la obligatoriedad de la identificación electrónica individual dispuesta por la Resolución 71 de 2024 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA)]. El objetivo es analizar cómo la integración de tecnologías 4.0 puede fortalecer la eficiencia operativa, optimizar la trazabilidad y mejorar los procesos de toma de decisiones en la gestión ganadera. El diagnóstico de la situación actual en Argentina permitió identificar deficiencias estructurales en materia de conectividad e infraestructura digital, trazabilidad, gestión de los recursos forrajeros y articulación de los eslabones de la cadena de valor. A partir de la vigilancia tecnológica realizada, se reconocieron oportunidades de mejora orientadas a superar dichas limitaciones mediante la incorporación de tecnologías propias de la ganadería de precisión (GP). Con el fin de materializar estas oportunidades, se elaboró un plan de implementación tecnológica dirigido a establecimientos extensivos de pequeña escala. Los principales hallazgos del trabajo evidencian que la digitalización de la gestión ganadera solo se consolidará a través de una adopción tecnológica gradual sustentada en la integración de conocimiento, innovación y aprendizaje continuo.

Palabras Claves: transformación digital; ganadería de precisión; tecnologías 4.0; vigilancia tecnológica; gestión ganadera.

ABSTRACT

This paper addresses the digital transformation in the management of Argentine cattle farming, beginning with the mandatory individual electronic identification established by Resolution 71 of 2024 [Argentinean National Service of Agrifood Health and Quality (SENASA)]. The aim is to analyze how the integration of Industry 4.0 technologies can enhance operational efficiency, optimize traceability, and improve decision-making processes in livestock management. An assessment of the current situation in Argentina revealed structural deficiencies in digital connectivity and infrastructure, traceability, forage resource management, and coordination among links in the value chain. Based on a technological surveillance process, opportunities for improvement were identified to overcome these limitations through the incorporation of precision livestock farming (PLF) technologies. To realize these opportunities, a technological implementation plan was developed targeting small-scale extensive farming operations. The main findings of the study show that the digitalization of livestock management will only become consolidated through a gradual technological adoption supported by the integration of knowledge, innovation, and continuous learning.

Keywords: digital transformation; precision livestock farming; Industry 4.0 technologies; technological surveillance; livestock management.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se centra en el análisis de la transformación digital en la gestión de la ganadería bovina argentina, actividad que constituye un pilar histórico y estratégico del sistema productivo nacional. El principal desafío que enfrenta el sector es adaptarse a los nuevos estándares internacionales de calidad, trazabilidad y sostenibilidad que actualmente definen su competitividad (Capdevielle, 2023). El objetivo general de la tesis es examinar la integración de tecnologías 4.0 en la gestión ganadera argentina, con punto de partida en la obligatoriedad de la identificación electrónica, a fin de impulsar la transformación digital del sector y optimizar la gestión operativa, la trazabilidad y los procesos de toma de decisiones.

En los últimos años, la incorporación de tecnologías digitales ha dado origen a la GP, un enfoque que aplica herramientas para monitorear y gestionar en tiempo real las variables productivas y el desempeño individual de los animales, lo que contribuye a optimizar la productividad y la sostenibilidad del sistema (Berckmans, 2017). No obstante, la adopción tecnológica sigue siendo limitada y desigual, sobre todo en establecimientos extensivos de menor escala, donde persisten los registros manuales, la baja conectividad y la escasa sistematización de datos. Estas condiciones restringen la trazabilidad, reducen la eficiencia y dificultan la toma de decisiones. En este contexto, la obligatoriedad de la identificación electrónica individual dispuesta por la Resolución 71 de 2024 [SENASA] marca un punto de inflexión, al garantizar estándares de trazabilidad y sanidad animal y abrir una oportunidad estratégica para acelerar la digitalización de la gestión ganadera sobre bases de información confiable y verificable.

La investigación se enmarca en un enfoque cualitativo y descriptivo, basado en fuentes académicas, técnicas e institucionales. Su desarrollo se apoya en el Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica (MOGIT), que organiza la transformación en las etapas: Vigilar, Focalizar, Capacitarse, Implantar y Aprender (COTEC, 1999), y proporciona una hoja de ruta progresiva para avanzar en la digitalización de la gestión ganadera.

2. DESARROLLO

Diagnóstico de la situación actual de la ganadería en Argentina y marco normativo vigente

Argentina se posiciona como uno de los países de mayor relevancia mundial en la ganadería bovina. Ocupa el sexto lugar a nivel global en producción de carne vacuna y registra el mayor consumo per cápita de carne bovina (APEA, 2024). Si bien la actividad se desarrolla en todo el territorio nacional, presenta una estructura productiva con marcadas disparidades espaciales. La región pampeana concentra más del 70 % del rodeo, y la provincia de Buenos Aires se consolida como la principal jurisdicción ganadera del país (MAGyP, 2024).

El proceso productivo bovino se estructura en una serie de etapas interdependientes que integran la cadena de valor ganadera, desde la cabaña hasta la distribución final de la carne y sus subproductos. Las cabañas se especializan en la obtención y difusión de genética superior, mientras que la cría se orienta a la producción de terneros destetados. La recría abarca el desarrollo del animal desde el destete hasta alcanzar el peso de terminación, y el engorde constituye la etapa final del ciclo primario, destinada a optimizar la ganancia de peso y el control de las variables productivas. Finalmente, se efectúan las tareas de faena, desposte, empaque y distribución, tanto para el consumo interno como para la exportación. Sobre esta base, la estructura productiva del sector se compone de sistemas extensivos, mixtos e intensivos, distribuidos de manera heterogénea en el territorio nacional. Predominan los sistemas extensivos, caracterizados por su baja inversión por hectárea y su dependencia de los recursos forrajeros naturales. Los sistemas mixtos combinan pastoreo y encierros estratégicos para mejorar la eficiencia, mientras que los intensivos, basados en el confinamiento del ganado, requieren una mayor inversión y control sanitario, aunque alcanzan los niveles más altos de productividad (De Batista, 2016).

Desde mediados de la década del 2000, el Estado argentino ha impulsado normativas orientadas a la identificación individual del ganado, como condición esencial para garantizar la trazabilidad sanitaria, fiscal y comercial exigida por los mercados internacionales (FAO, 2016). Este proceso se consolidó con la Resolución 71 de 2024 [SENASA], que dispuso la obligatoriedad de la identificación electrónica individual de bovinos, bubalinos y cérvidos, con el fin de fortalecer la trazabilidad integral del rodeo nacional.

El diagnóstico de la gestión productiva ganadera revela una marcada heterogeneidad entre sistemas, asociada a diferencias de escala, organización y nivel tecnológico. En los establecimientos extensivos predomina una gestión manual y fragmentada, basada en cuadernos de campo y planillas impresas como principal soporte (Capdevielle, 2023). Estos registros generan duplicaciones, errores y demoras, además de una fuerte dependencia del conocimiento tácito del encargado (Tallarico et al., 2025). La trazabilidad individual también resulta difícil de implementar, dado que la información se registra por lote o categoría, sin asociarse a cada animal (Capdevielle, 2023). En contraste, los sistemas intensivos exhiben un mayor grado de digitalización, donde la concentración espacial y la estandarización de procesos facilitan el uso de plataformas de gestión, sensores y dispositivos electrónicos de identificación (Garro y Tallarico, 2022). No obstante, la digitalización a nivel nacional sigue siendo incipiente y heterogénea, condicionada por la conectividad, la infraestructura y las capacidades técnicas de los actores (Tallarico et al., 2025). A su vez, la falta de continuidad en las políticas de innovación y las restricciones económicas recurrentes limitan la capacidad de inversión tecnológica del sector (Lachman y López, 2018).

En este escenario, el sistema de gestión ganadera enfrenta una dualidad entre un marco normativo que impulsa la trazabilidad digital obligatoria y un sector productivo que aún conserva prácticas tradicionales y bajos niveles de digitalización. Esta brecha limita la eficiencia, debilita la toma de decisiones y constituye uno de los principales desafíos para avanzar hacia la transformación digital del sector.

Caracterización del sistema productivo de la GP

La GP representa un nuevo enfoque productivo que incorpora tecnologías 4.0 para registrar y analizar en tiempo real parámetros fisiológicos, sanitarios, reproductivos y comportamentales. Este modelo ajusta el manejo a las necesidades individuales de cada ejemplar y optimiza la eficiencia y el bienestar animal (Berckmans, 2017). Uno de los aspectos más significativos radica en su capacidad para ampliar el control del productor sobre los animales y sobre las operaciones productivas del establecimiento. Esta transformación introduce una dinámica interconectada, sustentada en información empírica y en una automatización progresiva. Como señalan Norton et al. (2019), no se trata únicamente de incorporar dispositivos, sino de construir una arquitectura digital capaz de sostener un circuito integrado de monitoreo, análisis y acción.

El proceso de la GP comienza con la identificación individual a través de caravanas electrónicas y se estructura en cuatro etapas interdependientes. La primera consiste en la recolección de datos mediante tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), que captan información del animal, el ambiente y la infraestructura. En la segunda, esos datos se organizan y procesan a través de plataformas de Inteligencia Artificial (IA), Big Data y esquemas de cloud o edge computing, para generar indicadores relevantes para la gestión. La tercera etapa corresponde a la toma de decisiones, donde la IA transforma esos indicadores en recomendaciones concretas. Por último, la cuarta etapa implica la ejecución de acciones mediante sistemas de automatización y robótica, que completan el ciclo de retroalimentación continua (Lachman y López, 2018). Este flujo de información parte del entorno productivo hacia los sistemas digitales y retorna al productor en forma de alertas, diagnósticos o recomendaciones. El trabajo dentro del establecimiento se reorganiza, el productor deja de centrarse en la ejecución manual para asumir un rol más analítico (Garro y Tallarico, 2022). La retroalimentación puede requerir intervención humana o, en sistemas avanzados, operar de manera automatizada (Berckmans, 2017).

La incorporación de tecnologías 4.0 en la cadena de valor ganadera impulsa una transformación transversal que, si bien no altera su secuencia funcional, redefine su dinámica operativa y promueve la automatización progresiva de las decisiones (Ver Figura 1). Esta transición impulsa un modelo de gestión inteligente sustentado en evidencia, monitoreo permanente y adaptación continua. De acuerdo con Tallarico et al. (2025), la digitalización no constituye un fin en sí misma, sino una herramienta que dinamiza e integra las actividades productivas, favorece la sinergia entre actores y estimula la construcción de soluciones basadas en el uso compartido de información.



Figura 1 - Cadena de valor ganadera adaptada a la GP.
Fuente. Elaboración propia basada en Garro y Tallarico, 2022.

Análisis de las tecnologías 4.0 en la gestión de la GP

Las tecnologías digitales aplicadas a la GP han experimentado una evolución sostenida. Con el propósito de identificar y sistematizar estas innovaciones, se realizó una vigilancia tecnológica. Se consultaron Google Académico y Google, con acceso a repositorios y portales científicos, y se recabaron 43 documentos. El proceso de filtrado se basó en tres criterios: pertinencia temática, que excluyó trabajos sobre otras especies o sobre agricultura de precisión; actualidad, que priorizó publicaciones entre 2016 y 2025; y calidad y aplicabilidad, que descartó fuentes duplicadas o sin respaldo académico verificable. El corpus final quedó conformado por 27 documentos, 24 en inglés y 3 en español. A continuación, se presentan las tecnologías identificadas por pilar tecnológico de la Industria 4.0.

El IoT constituye el eje de interconexión del sistema y permite la captura continua de datos en tiempo real. Dentro de este pilar se agrupan tecnologías que registran, transmiten y procesan información de manera automática, entre ellas la identificación electrónica mediante RFID y caravanas inteligentes, los biosensores, y las redes de comunicación. En cuanto a la identificación electrónica, permite asociar información sanitaria, reproductiva y productiva a cada animal y constituye un componente esencial para la trazabilidad individual. Los biosensores, tanto invasivos como no invasivos, registran variables fisiológicas y de comportamiento y, al integrarse con plataformas cloud y algoritmos de IA, facilitan el control sanitario y el bienestar animal (Bernabucci et al., 2025). Además, estas tecnologías se complementan con redes de comunicación de baja potencia LoRa-WAN y conectividad satelital de baja órbita, que garantizan la transmisión de datos en tiempo real incluso en zonas extensivas con limitaciones de cobertura (Jouhari et al., 2023).

En cuanto a los sistemas ciberfísicos (CPS), integran sensores, plataformas y actuadores para ajustar raciones, regular accesos y activar mecanismos automáticos. Incorporan sistemas acústicos y de posicionamiento global (GPS), visión artificial, y acelerómetros que diferencian pastoreo y rumia, y detectan celo o partos inminentes (Bernabucci et al., 2025). Con soporte de edge computing, procesan datos en el propio establecimiento lo que reduce la dependencia de la conectividad (Jouhari et al., 2023). Por otra parte, la ciberseguridad constituye un componente esencial, ya que protege los datos estratégicos generados por los sistemas digitales y previene accesos no autorizados, alteraciones en los registros y riesgos para la continuidad operativa. Además, garantiza la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información mediante cifrado, protocolos de encriptación avanzada, autenticación multifactor, detección de anomalías con IA, videovigilancia inteligente y Privacy-Enhancing Technologies (PETs), que resguardan la integridad de los registros (Neethirajan, 2025).

Respecto a cloud y edge computing, estas tecnologías permiten procesar, almacenar y analizar grandes volúmenes de información e integrarlos en tableros de gestión que facilitan la toma de decisiones en tiempo real. El procesamiento cloud favorece el desarrollo de gemelos digitales, que replican el comportamiento del rodeo y del entorno para simular escenarios productivos y anticipar riesgos. En cuanto a edge computing, esta tecnología acerca la capacidad de procesamiento al punto donde se originan los datos, lo que posibilita respuestas inmediatas y una menor dependencia de la conectividad. Su aplicación en dispositivos IoT posibilita ajustes automáticos en alimentación, control climático y manejo del pastoreo (He et al., 2024). Por su parte, las tecnologías pertenecientes a blockchain refuerzan la seguridad y la transparencia de la información ganadera mediante registros inalterables y verificables. Su aplicación principal se vincula con la trazabilidad individual, al consolidar historiales únicos de origen, sanidad y alimentación. También permiten la automatización de certificaciones a través de contratos inteligentes, la tokenización de activos ganaderos y el desarrollo de etiquetado digital verificable (Yang et al., 2025).

En lo que refiere a IA y Big Data, estas tecnologías optimizan la gestión ganadera al procesar grandes volúmenes de información y generar diagnósticos más precisos. Su aplicación incluye genómica avanzada, visión por computadora, dispositivos inteligentes para detección temprana de preñez y modelos predictivos que anticipen riesgos y mejoren la planificación productiva. Estas tecnologías amplían la capacidad analítica del sistema ganadero, fortalecen la toma de decisiones estratégicas y favorecen una gestión basada en datos, orientada a la eficiencia y la sostenibilidad (Bernabucci et al., 2025).

A su vez, la robótica en la GP se orienta a la automatización de tareas operativas y al manejo individualizado del rodeo, con el objetivo de reducir la intervención humana, aumentar la eficiencia y mejorar el bienestar animal (Berckmans, 2017). Sus principales aplicaciones incluyen robots de alimentación que distribuyen raciones ajustadas a las necesidades de cada grupo; sistemas de visión artificial que estiman peso y condición corporal a partir de cámaras tridimensionales o imágenes térmicas procesadas con algoritmos de IA; y puertas automáticas que clasifican animales según parámetros productivos o sanitarios (Bernabucci et al., 2025; Brancher et al., 2024). También se destacan los robots ambientales y de limpieza, junto con los robots de arreo terrestre y aéreo, que guían al ganado mediante estímulos visuales o sonoros (Li et al., 2022). En relación a la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV), estas tecnologías se orientan a la capacitación y a la asistencia técnica, al superponer información y recrear entornos de aprendizaje inmersivos (Tang et al., 2020). Por su parte, la manufactura aditiva permite producir suplementos nutricionales personalizados según los requerimientos fisiológicos de cada animal (Zhu et al., 2023).

Con el propósito de valorar la capacidad de las tecnologías 4.0 para transformar procesos productivos y redefinir modelos de gestión, se analiza su potencial innovador (COTEC, 1999). Para ello, se consideran tres ejes de evaluación: madurez tecnológica, capacidad transformadora y aplicabilidad operativa, medidos en una escala de 1 a 5 donde los valores altos reflejan mayor desarrollo. El análisis se ilustra a través de un diagrama de radar (Ver Figura 2), que evidencia un perfil innovador heterogéneo. Por un lado, las innovaciones incrementales, como IoT, cloud y edge computing, se destacan por su rápida incorporación en los sistemas productivos ganaderos, mientras que las tecnologías disruptivas, entre ellas IA y Big Data, blockchain, robótica y CPS, presentan un mayor potencial transformador, aunque su adopción enfrenta barreras técnicas, económicas y organizacionales (Bernabucci et al., 2025).

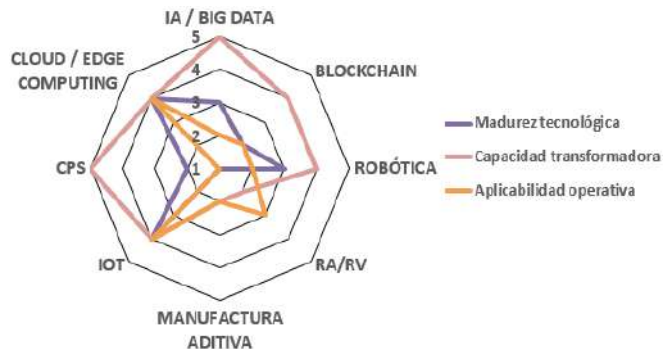


Figura 2- Radar de las tecnologías 4.0 en la GP.

Fuente. Elaboración propia.

En cuanto al plano nacional, en los últimos años se ha consolidado un ecosistema de startups orientadas al desarrollo de soluciones digitales para la gestión ganadera. Si bien la mayoría de las herramientas 4.0 están disponibles en el mercado, su incorporación en los establecimientos sigue siendo limitada, lo que evidencia la brecha entre la oferta tecnológica y su aprovechamiento efectivo en la gestión. El nivel de adopción varía según la escala productiva: establecimientos de mayor tamaño presentan una integración más avanzada, mientras que pequeños y medianos enfrentan restricciones de infraestructura, conectividad y capacitación (Capdevielle, 2024). Como advierten Lachman y López (2018), sin esquemas de gestión que sistematicen la información, las tecnologías tienden a aplicarse de forma aislada, sin generar transformaciones estructurales.

Identificación de oportunidades de mejora en la gestión ganadera desde la integración de tecnologías 4.0

La identificación de las problemáticas actuales en la gestión ganadera argentina constituye un paso decisivo dentro del proceso de transformación digital. Este diagnóstico permite delimitar los puntos críticos que condicionan la eficiencia de los sistemas de gestión y obstaculizan la consolidación de la GP. Su análisis resulta esencial para detectar oportunidades de mejora basadas en la integración de tecnologías 4.0.

Uno de los principales factores que condicionan la transformación digital es la deficiencia en la conectividad rural. La carencia de infraestructura restringe la cobertura de internet en amplias zonas productivas e impide el uso en tiempo real de plataformas cloud. Estas limitaciones se combinan con deficiencias en infraestructura vial y servicios básicos que obstaculizan la digitalización de los procesos y profundizan la brecha territorial en materia tecnológica (Tallarico et al., 2025). Según datos del MEcon (2021), más del 40 % de los parajes rurales relevados carecían de acceso a internet, y la proporción ascendía al 80 % al incluir aquellos con cobertura insuficiente. En coincidencia, referentes de startups tecnológicas argentinas afirmaron que la conectividad fue la principal barrera al ingresar al mercado, lo que evidencia que la falta de infraestructura digital continúa siendo un factor crítico para las innovaciones del sector (Pabellón Rojo, 2024).

Otra problemática central es la trazabilidad deficiente, que impide consolidar sistemas digitales robustos y confiables. Como advierte Capdevielle (2023), en numerosos establecimientos los registros aún se realizan de forma manual, en cuadernos o planillas impresas, lo que restringe la construcción de historiales verificables y debilita la capacidad de demostrar el origen y el estatus sanitario de los animales. En la misma línea, referentes del sector identificaron la escasa sistematización de la información como uno de los principales factores que obstaculizan la adopción de tecnologías de precisión en el país (Lachman y López, 2018; Pabellón Rojo, 2024). Además, el Visualizador de Datos del MAGyP (s.f.) refuerza este diagnóstico al mostrar que, en provincias como Corrientes y otras zonas del NEA, los productores reconocen como crítica la falta de registros digitalizados y de sistemas de identificación individual confiables.

El uso ineficiente de los recursos forrajeros constituye otra de las limitaciones estructurales, dado que el forraje es uno de los recursos menos cuantificados y gestionados en los sistemas de base pastoril. La falta de información precisa provoca un aprovechamiento ineficiente del recurso y restringe la planificación de la carga animal y la suplementación (Pabellón Rojo, 2024). En esta línea, INTA (2020) advierte que la estimación adecuada de la disponibilidad forrajera resulta un componente central para el manejo sustentable y el ajuste de la carga. De igual modo, el Visualizador de Datos del MAGyP (s.f.) explica que, en regiones como el NEA, NOA y la Patagonia, los productores identifican como crítica la escasa disponibilidad y el manejo ineficiente de los recursos forrajeros. Además, la startup argentina Pastech señaló que menos del 10% de los productores conoce con exactitud la biomasa disponible en sus campos (Pabellón Rojo, 2024).

La transformación digital del sector ganadero requiere un flujo de información integrado entre los distintos eslabones de la cadena de valor. Sin embargo, en Argentina persiste una fragmentación estructural que limita la implementación de tecnologías digitales y la conformación de sistemas de gestión basados en datos. Esta

falta de articulación entre actores reduce el impacto de las tecnológicas 4.0, debilita los procesos de innovación colectiva y refleja la ausencia de plataformas interoperables que garanticen la gobernanza y el aprovechamiento estratégico de la información (Galli et al., 2023; Tallarico et al., 2025).

Como etapa posterior al diagnóstico de las problemáticas, se identifican oportunidades de mejora orientadas a transformar las limitaciones detectadas. La principal herramienta para superar estos obstáculos y consolidar un proceso sostenido de digitalización en la gestión ganadera son las tecnologías 4.0 relevadas en la vigilancia tecnológica. En primer lugar, la incorporación de conectividad satelital de baja órbita, junto con redes de comunicación de bajo consumo y arquitecturas de edge computing, posibilitan sistemas de gestión digital en tiempo real capaces de integrar tableros de control, alertas tempranas y decisiones descentralizadas (Galli et al., 2023). De este modo, la conectividad se consolida como un eje estratégico para avanzar en la digitalización de los establecimientos ganaderos (Pabellón Rojo, 2024).

En el plano de la trazabilidad, la oportunidad de mejora radica en integrar diversas tecnologías para conformar un sistema digital completo, seguro y eficiente. La identificación individual permite capturar datos en origen, mientras que plataformas de cloud y edge computing facilitan su almacenamiento y procesamiento en tiempo real, incluso en regiones con conectividad limitada (INTA, 2022). La incorporación de blockchain, a través de contratos inteligentes, refuerza la integridad de los registros y posibilita la emisión de certificaciones digitales verificables (Yang et al., 2025). De esta manera, se consolida un sistema integral que asegura información individualizada, continua y confiable del animal, facilita el monitoreo remoto y refuerza la transparencia en mercados internacionales cada vez más exigentes.

En cuanto al manejo de los recursos forrajeros, la oportunidad de mejora reside en sustituir estimaciones subjetivas por una gestión basada en datos precisos. La integración de pasturómetros georreferenciados, drones multispectrales y sistemas de teledetección satelital permite medir la oferta forrajera con objetividad en cada potrero. El soporte de cloud y edge computing habilita tableros en tiempo real que vinculan el estado de los recursos, mientras que los modelos predictivos y gemelos digitales transforman esos datos en escenarios concretos de decisión (Bernabucci et al., 2025).

En la cadena de valor ganadera, la oportunidad radica en aprovechar la digitalización como herramienta para articular los distintos eslabones y superar la fragmentación existente. Las plataformas cloud facilitan el intercambio estandarizado de información, mientras que blockchain garantiza la transparencia de las transacciones y permite contratos inteligentes que agilizan certificaciones y liquidaciones (Galli et al., 2023). A su vez, los mecanismos de ciberseguridad fortalecen la confiabilidad del sistema al proteger los datos sensibles y asegurar la continuidad operativa (Neethirajan, 2025).

En la Figura 3 se presenta un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) del sistema ganadero argentino en el contexto de la transformación digital. Se observan oportunidades vinculadas al marco normativo y a la innovación local, junto con debilidades asociadas a la conectividad limitada y a la baja adopción tecnológica. El desafío radica en superar las limitaciones internas para lograr una integración efectiva de las tecnologías 4.0.

Fortalezas	Debilidades
<p>F1. Prestigio internacional de la carne argentina y fuerte posicionamiento exportador (APEA, 2024).</p> <p>F2. Diversidad de sistemas productivos adaptables a distintas tecnologías (De Batista, 2016).</p>	<p>D1. Conectividad e infraestructura digital limitada (MEcon, 2021).</p> <p>D2. Predominio de registros manuales, y baja integración digital (Capdevielle, 2023).</p> <p>D3. Escasa adopción tecnológica en sistemas extensivos (Capdevielle, 2024).</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>O1. Identificación electrónica individual obligatoria (Resolución 71 de 2024).</p> <p>O2. Soluciones digitales locales impulsadas por startups ganaderas (Lachman y López, 2018).</p> <p>O3. Tendencias globales hacia mayores exigencias en trazabilidad (Resolución 71 de 2024).</p>	<p>A1. Ausencia de políticas sostenidas y restricciones macroeconómicas que limitan la inversión tecnológica (Lachman y López, 2018).</p>

*Figura 3- Análisis FODA del sistema ganadero argentino.
Fuente. Elaboración propia.*

Plan de implementación tecnológica orientado a mejorar la gestión de la GP en el contexto normativo

Se presenta un plan de implementación tecnológica orientado a la transformación digital de la gestión en un establecimiento ganadero extensivo de pequeña escala, con una superficie estimada entre 400 y 600 hectáreas y un stock de 200 a 300 cabezas bovinas destinadas principalmente a cría y recria. Este sistema constituye un caso representativo para el diseño de una hoja de ruta, dado que pertenece a uno de los segmentos con mayores desafíos en materia de adopción tecnológica, donde aún predominan los registros manuales y persisten las limitaciones de conectividad rural. El plan tiene una duración prevista de tres años y se organiza en etapas progresivas que permiten avanzar de manera planificada hacia la digitalización integral del sistema de gestión.

La visión del plan es consolidar al establecimiento como un sistema de GP integrado y predictivo, capaz de gestionar en tiempo real la trazabilidad y los recursos, y proyectarse como referente de eficiencia y sostenibilidad en el nuevo contexto digital. La misión es proporcionar una guía que oriente la transición digital del establecimiento de modo que no solo cumpla con la identificación electrónica obligatoria, sino que avance de manera planificada hacia la transformación integral de su gestión. El plan se estructura en torno a tres ejes estratégicos: gestión eficiente y productividad; trazabilidad y transparencia; e innovación y desarrollo de capacidades.

En primer lugar, se retoman los resultados de la vigilancia tecnológica, que se utilizan como punto de partida para focalizar las tecnologías más adecuadas. Para ello, se priorizan aquellas que pueden incorporarse con la infraestructura y la capacidad actual, seguidas por las que requieren fortalecer la base digital, y, por último, las de mayor complejidad técnica y organizacional. Este análisis permite definir tres fases de implementación: corto plazo (0 - 6 meses), mediano plazo (7 - 17 meses) y largo plazo (18 - 36 meses).

En el corto plazo, se plantea la implementación de caravanas electrónicas con tecnología RFID, en cumplimiento de la Resolución 71 de 2024 [SENASA]. Esta medida constituye la base estratégica para garantizar la trazabilidad individual de todo el rodeo y posibilitar la incorporación progresiva de tecnologías. Asimismo, el plan contempla la adopción de soluciones de conectividad destinadas a asegurar la transmisión de datos esenciales. La estrategia se apoya en la instalación de antenas LoRa-WAN, y en servicios de internet satelital de baja órbita en regiones donde no existe infraestructura disponible. Paralelamente, se impulsa la digitalización básica mediante la sustitución gradual de planillas en papel por registros digitales. En este proceso, el bastón lector RFID se convierte en una herramienta clave que permite establecer una asociación directa entre cada caravana electrónica y la información individual del animal. Para facilitar esta integración, se recomienda migrar los registros existentes a plantillas en formato Excel, de modo que los datos del sistema tradicional de identificación puedan vincularse posteriormente con la caravana electrónica correspondiente.

En el mediano plazo, el establecimiento se proyecta a partir de la plena implementación de caravanas electrónicas en el rodeo y la expansión sostenida de la conectividad rural. Esta etapa tiene como eje central la consolidación de una base de datos integrada que permita reunir, organizar y estandarizar la información generada en el sistema productivo. Una vez conformada, se prevé la evaluación y selección de plataformas cloud para su almacenamiento y análisis. Paralelamente, se incorporan medidas de ciberseguridad orientadas a garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información. Se recomienda aplicar PETs para habilitar el intercambio seguro entre los actores de la cadena y proteger los registros productivos y sanitarios del establecimiento. Además, el plan contempla la instalación de balanzas automáticas y sistemas de pesaje electrónico integrados a las plataformas digitales de gestión.

En el largo plazo, se plantea la incorporación de IA y Big Data con el objetivo de transformar la información generada en un sistema de gestión predictivo y prescriptivo. Se proyecta la adopción de collares inteligentes con IA y sistemas GPS para el seguimiento fisiológico, conductual y espacial del rodeo. A su vez, el plan prevé instalar sensores forrajeros y pasturómetros georreferenciados como respuesta a la ineficiencia detectada en el uso del recurso forrajero. Para fortalecer el monitoreo integral, se propone la utilización de drones como herramienta estratégica. También, se contempla la incorporación de sistemas de genómica avanzada y ecógrafos digitales inteligentes que integran algoritmos de IA para el análisis y la interpretación de datos. Asimismo, se alienta a complementar con soluciones de edge computing a fin de asegurar la operatividad de los sistemas digitales. Se incluye además la implementación de cercas virtuales mediante los collares inteligentes ya instalados, con el propósito de definir límites dinámicos sin requerir alambrados físicos, controlar los movimientos del rodeo y mejorar la eficiencia del manejo extensivo. Finalmente, se propone incorporar blockchain y contratos inteligentes para que los registros generados en etapas previas operen dentro de una red distribuida que garantice su integridad y confiabilidad.

Posteriormente, se avanza en la capacitación en competencias digitales y se promueve la articulación con el INTA, universidades y startups de tecnología agropecuaria. Luego, la estrategia definida se operacionaliza en un esquema de acción concreto que organiza los procesos e integra las tecnologías priorizadas mediante un mapa de procesos. A partir de un cronograma de Gantt, se planifica la implementación de las tecnologías en las fases de corto, mediano y largo plazo. Asimismo, se definen indicadores destinados a evaluar los resultados, capitalizar la experiencia y garantizar la mejora continua y la sostenibilidad del sistema.

Como proyección a futuro, se fomenta la continuidad de la transformación digital al sentar las bases para la incorporación de tecnologías más avanzadas. Además, se impulsa la articulación de los eslabones de la cadena ganadera mediante una plataforma de gestión integral que fortalezca la integración y la cooperación. Este desafío excede el alcance del plan, pero constituye el siguiente paso en la evolución del sistema.

3. CONCLUSIONES

La transformación digital en la ganadería argentina representa una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia, la trazabilidad y la gestión de los sistemas productivos. El nuevo marco normativo sienta las bases para avanzar progresivamente hacia la digitalización y la gestión integrada de la información.

El diagnóstico demostró que el sector ganadero argentino atraviesa una etapa de transición caracterizada por una brecha significativa entre los sistemas tradicionales de producción y el modelo de GP. Dicha brecha se refleja en problemáticas estructurales vinculadas con la baja conectividad e infraestructura digital limitada, la trazabilidad deficiente, la ineficiencia en el uso de los recursos forrajeros y la desarticulación entre los eslabones de la cadena de valor. El análisis evidenció que la principal oportunidad para superar estas limitaciones es la integración de tecnologías 4.0. Sobre esta base, se desarrolló la vigilancia tecnológica que permitió identificar una amplia variedad de herramientas digitales disponibles a nivel nacional e internacional, y se detectó una relación de dependencia entre ellas. Esto evidencia que su adopción efectiva requiere una base tecnológica, organizacional y digital consolidada.

Los resultados obtenidos confirman que la transformación digital del sistema ganadero depende tanto de la disponibilidad tecnológica como de la capacidad de los establecimientos para integrar y utilizar la información de forma estratégica. Este proceso requiere articular conocimiento, tecnología y gestión, y demanda el desarrollo de competencias organizacionales orientadas al aprendizaje continuo y la adaptación frente a los cambios del entorno productivo. De esta forma, la transformación digital en la gestión de la GP se consolida como el eje estructural del desarrollo competitivo y sostenible de la ganadería argentina, y promueve una cultura de gestión basada en datos, innovación y mejora continua.

4. REFERENCIAS

- APEA. (2024). *Informe Ganadero 2024*. Asociación de Productores Exportadores de Argentina.
- Berckmans, D. (2017). *General introduction to precision livestock farming*. Animal Frontiers.
- Bernabucci, G., Evangelista, C., Girotti, P., Viola, P., Spina, R., Ronchi, B., Bernabucci, U., Basiricò, L., Turini, L., Mantino, A., Mele, M., y Primi, R. (2025). *Precision livestock farming: An overview on the application in extensive systems*. Italian Journal of Animal Science, 24(1), 859–884.
- Brancher, M. L., Herrera Conegliano, O. A., y Quiroga, R. E. (2024). *Aportes tecnológicos para la ganadería de precisión*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Capdevielle, B. (2023). *El trabajo en la ganadería vacuna, provincia de Buenos Aires*. IMPACT.AR Desafío 58.
- Capdevielle, B. (2024) *Tecnologías de la información y la comunicación, digitalización y trabajo en la ganadería bovina argentina del siglo XXI*. Revista Latinoamericana de Estudios Rurales, 9(17).
- De Batista, M. (2016). *Gobernanza y coordinación en la cadena de la carne bovina argentina: focalización en el Sudoeste Bonaerense* (Universidad Nacional del Sur). Repositorio Digital UNS.
- FAO. (2016). *La trazabilidad*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- COTEC. (1999). *Informe COTEC 1999 sobre tecnología e innovación en España*. Madrid.
- Galli, J., Zurbriggen, G., Planisich, A., Tomassetti, A., y Pires, M. (2023). *Ganadería de precisión en sistemas de base pastoril*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.
- Garro, R. J., y Tallarico, G. A. (2022). *Ganadería de precisión: innovaciones tecnológicas que agregan valor a la ganadería*. IDIA. Ediciones INTA.
- He, W., Xu, G., y Zhang, Y. (2024). *Edge computing-oriented smart agricultural supply chain: Architecture, applications, and challenges*. Journal of Cloud Computing
- INTA. (2020). *Estimación de la disponibilidad forrajera en sistemas pastoriles*. INTA.
- INTA. (2022). *Plan Estratégico Institucional 2021-2026*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Jouhari, M., Saeed, N., Alouini, M. -S., y Amhoud, E. M. (2023). *A survey on scalable LoRaWAN for massive IoT: Recent advances, potentials, and challenges*. IEEE Access.
- Lachman, J. y López, A. (2018). *Nuevas oportunidades y desafíos productivos en la Argentina: Resultados de la Primera Encuesta Nacional a Empresas de Agricultura y Ganadería de Precisión*. IIEP-BAIRES, Serie Documentos de Trabajo 38, Buenos Aires.
- Li, X., Huang, H., Savkin, A. V., y Zhang, J. (2022). *Robotic herding of farm animals using a network of barking aerial drones*. Drones, 6(2), 29.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP). (s. f.). *Bovinos*. Gobierno de la República Argentina. Recuperado el 14 de julio de 2025, de <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/>
- MAGyP. (2024). *Caracterización nacional por sistemas de producción 2023*.
- Ministerio de Economía de la Nación (MEcon). (2021). *Ficha sectorial: Servicios de conectividad satelital*. Dirección Nacional de Estudios Regionales y de Cadenas de Valor.
- Neethirajan, S. (2025). *Safeguarding digital livestock farming: A comprehensive cybersecurity roadmap for the dairy and poultry industries*. Frontiers in Big Data, 8, 1556157.
- Norton, T., Chen, C., Larsen, M. L. V., Berckmans, D., y O’Callaghan, E. (2019). *Precision livestock farming: Building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer*.
- Pabellon Rojo. [Expo rural]. (2024, 18 de julio). *Propuestas de innovación AnimalTech* [Video]. YouTube.
- Resolución 71 de 2024 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria]. *Sistema Nacional de Trazabilidad Electrónica Individual: incorporación del ganado bovino, bubalino y cérvido al sistema de identificación electrónica*. 17 de octubre de 2024. Boletín Oficial de la República Argentina.
- Tang, F. M. K., Lee, R. M. F., Szeto, R. H. L., Cheung, J. C. T., Ngan, O. M. Y., y Lau, A. S. N. (2020). *Experiential learning with virtual reality: animal handling training*. Innovation and Education.
- Tallarico, G., Fiecconi, M., y Battista, E. (2025). *Digitalización y gestión de datos en la extensión agropecuaria: Experiencias de INTA Territorios*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Programa Nacional AgTech.
- Visualizador de Datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (s.f.). *Visualizador de resultados: Encuesta de problemáticas y tecnologías aplicables por zona*. Recuperado de <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/visualizador/>
- Yang, Y., Lin, M., Lin, Y., Zhang, C., y Wu, C. (2025). *A survey of blockchain applications for management in agriculture and livestock Internet of Things*. Future Internet.
- Zhu, W., Chen, C., Li, H., y Liu, Z. (2023). *Three-dimensional printing of foods: A critical review*. Foods.