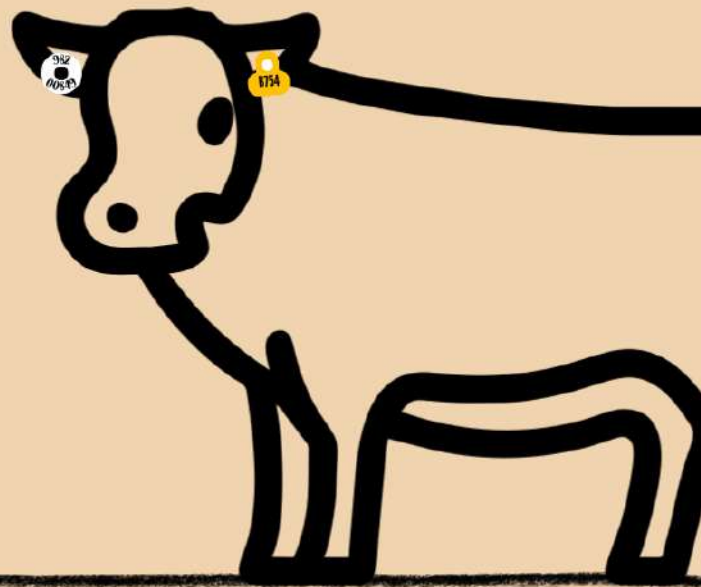


TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA GESTIÓN DE LA GANADERÍA DE PRECISIÓN

Autoras:

Elichiribehety, Lourdes

Fernandez, Lucila



**Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería
Industrial**

**Departamento de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería**

**Universidad Nacional de Mar del Plata
Noviembre 2025**



Universidad Nacional de Mar del Plata

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Industrial

Trabajo Final:
**“Transformación digital en la gestión de la
ganadería de precisión”**

Elichiribehety, Lourdes

Fernandez, Lucila

EVALUADORES:

DIRECTOR:

Mg. Ing. Morcela, Antonio. Facultad de Ingeniería UNMdP

Noviembre 2025

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata, por brindarnos una formación pública de excelencia y por transmitirnos los conocimientos que hicieron posible nuestro desarrollo profesional. Nos sentimos orgullosas de haber formado parte de esta institución.

Agradecemos también a todo el personal docente y no docente que, a lo largo de estos años, nos acompañó con dedicación, compartió sus saberes y experiencias, y contribuyó a nuestro crecimiento tanto académico como personal.

A nuestro director, Antonio Morcela, le agradecemos sinceramente por habernos acompañado a lo largo de este proceso. En cada instancia nos transmitió sus conocimientos y experiencia con dedicación, y siempre tuvo la palabra justa para darnos tranquilidad y confianza en nuestro trabajo. Supo guiarnos con respeto y claridad, y nos transmitió la seguridad de que íbamos por el camino correcto.

A nuestras familias, por ser nuestro mayor apoyo durante todos estos años. Ellos nos inculcaron el valor de la educación, nos impulsaron a seguir una carrera universitaria y nos dieron las herramientas necesarias para hacerlo posible. Crecimos juntas y ellos siempre estuvieron a nuestro lado, nos apoyaron en cada desafío y celebraron con nosotras cada paso alcanzado. Si hoy llegamos a esta etapa final, es gracias a ellos.

A nuestros amigos, por acompañarnos con cariño y alegría a lo largo de este camino. Gracias por estar presentes, por escuchar nuestras interminables charlas sobre la carrera y por recordarnos lo importante de disfrutar del proceso.

Por último, pero no menos importante, queremos agradecer a nuestras compañeras de la facultad, que con el tiempo se convirtieron en amigas. Gracias por cada jornada de estudio, por hacer más llevaderas las cursadas en la facultad y por compartir risas, mates y anécdotas que hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable. ¡Nada más lindo que haber llegado juntas hasta acá!

Lourdes y Lucila.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Objetivos	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Ganadería bobina	12
2.2 Cadena de valor.....	12
2.3 Proceso productivo	12
2.4 Sistemas productivos	13
2.5 Trazabilidad	13
2.6 Gestión productiva	14
2.7 Ganadería de precisión	14
2.8 Transformación digital	14
2.9 Industria 4.0	14
2.10 Tecnologías 4.0.....	14
2.11 Potencial innovador	16
2.12 Innovaciones incrementales y disruptivas	16
2.13 Modelo MOGIT.....	16
2.14 Vigilancia tecnológica.....	17
2.15 Diagrama causa-efecto (Ishikawa)	17
2.16 Análisis FODA	17
2.17 Plan estratégico de implementación tecnológica	18
2.18 Mapa de procesos	18
2.19 Cronograma de Gantt.....	18
3. METODOLOGÍA.....	19
4. DESARROLLO	21
CAPÍTULO I - Diagnóstico de la situación actual de la ganadería en Argentina y relevamiento del marco normativo vigente	21
4.1 Situación actual de la ganadería bovina en Argentina	21
4.2 Cadena de valor ganadero bovina.....	22

4.4 Trazabilidad en la ganadería bovina.....	24
4.5 Gestión productiva actual en establecimientos ganaderos extensivos e intensivos	27
4.6 Reflexiones del Capítulo I	30
CAPÍTULO II - Caracterización del sistema productivo de la ganadería de precisión.....	31
4.7 Concepto y fundamentos de la ganadería de precisión.....	31
4.8 Cadena de valor de la ganadería de precisión	33
4.9 Reflexiones del Capítulo II	34
CAPÍTULO III - Análisis de las tecnologías 4.0 en la gestión de la ganadería de precisión	35
4.10 Vigilancia tecnológica de las tecnologías 4.0	35
4.11 Potencial innovador de las tecnologías digitales	43
4.12 Reflexiones del Capítulo III	47
CAPÍTULO IV - Identificación de oportunidades de mejora en la gestión ganadera a partir de la integración de tecnologías 4.0	48
4.13 Problemáticas actuales en la gestión ganadera argentina	48
4.14 Análisis FODA del sistema de gestión ganadera argentino.....	52
4.15 Identificación de oportunidades de mejora en la gestión ganadera a partir de la integración tecnológica	53
4.16 Reflexiones del Capítulo IV.....	54
CAPÍTULO V - Propuesta de un plan de implementación tecnológica orientado a mejorar la gestión de la ganadería de precisión en el marco del nuevo contexto normativo.....	55
4.17 Diagnóstico y punto de partida	55
4.18 Visión y misión del plan.....	55
4.19 Ejes estratégicos del plan	56
4.20 Vigilar.....	56
4.21 Focalizar.....	57
4.22. Capacitarse.....	60
4.23. Implantar	61
4.24 Aprender	64
4.25 Reflexiones del Capítulo V.....	65
5. CONCLUSIONES	66
6. BIBLIOGRAFÍA.....	67
7. ANEXO	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Densidad de existencias bovinas en Argentina en 2023	21
Figura 2 Cadena de valor de la ganadería bovina tradicional	22
Figura 3 Distribución de Cabezas por Sistema de Producción 2023	23
Figura 4 Sistemas de identificación animal	25
Figura 5 Planilla de control de existencias	27
Figura 6 Planilla de ventas	28
Figura 7 Formulario digital de plan sanitario en feedlot.....	29
Figura 8 Formulario digital de movimientos de tropas en feedlot	30
Figura 9 Esquema metodológico de la AP y la GP.....	31
Figura 10 Integración tecnológica en ganadería de precisión	32
Figura 11 Modalidades de retroalimentación al productor.....	33
Figura 12 Cadena de valor ganadera bovina adaptada a la GP	34
Figura 13 Radar madurez tecnológica.....	44
Figura 14 Radar capacidad transformadora.....	44
Figura 15 Radar aplicabilidad operativa.....	45
Figura 16 Diagrama causa-efecto conectividad	49
Figura 17 Diagrama causa-efecto trazabilidad.....	50
Figura 18 Diagrama causa-efecto recurso forrajero	51
Figura 19 Diagrama causa-efecto cadena de valor	52
Figura 20 Análisis FODA	52
Figura 21 Mapa de procesos	62
Figura 22 Cronograma de Gantt	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías de la comunicación específicas disponibles para ganadería bovina en Argentina	46
Tabla 2 Tecnologías relevadas en la vigilancia tecnológica	56
Tabla 3 Fases de implementación tecnológica	60
Tabla 4 Indicadores de gestión	64
Tabla I. 1 Entrevistas	74

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]. 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. 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 Clave

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

La ganadería bovina argentina constituye un pilar histórico y estratégico del sistema productivo nacional. Su relevancia trasciende el plano económico, al articular dimensiones sociales, territoriales y tecnológicas que le otorgan una presencia significativa en todo el territorio. Esta actividad no solo contribuye de manera sustantiva a las exportaciones y al empleo rural, sino que también enfrenta el desafío de adaptarse a los nuevos estándares internacionales de calidad, trazabilidad y sostenibilidad que actualmente definen la competitividad global del sector (Capdevielle, 2023; Lachman y López, 2018).

En los últimos años, la incorporación de tecnologías digitales en la actividad ganadera comenzó a transformar los sistemas de producción tradicionales. Este proceso, conocido como ganadería de precisión (GP), se basa en la aplicación de herramientas tecnológicas que permiten monitorear, medir y gestionar las variables del proceso productivo a partir de información empírica y en tiempo real. La GP posibilita una gestión individual y dinámica de los animales, en la que cada ejemplar se convierte en una fuente continua de información que contribuye a optimizar la productividad y la sostenibilidad del sistema ganadero (Berckmans, 2017).

En este contexto, la Resolución 71 de 2024 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA)] modificada por la 530 de 2025 establece la obligatoriedad de la identificación electrónica individual mediante caravanas, lo que constituye un punto de inflexión para la gestión ganadera. Esta medida no solo procura garantizar estándares de trazabilidad y sanidad animal, sino que también representa una oportunidad estratégica para acelerar la digitalización del sistema de gestión ganadera y consolidar las bases de un modelo sustentado en información confiable y verificable.

La transformación digital se concibe como un proceso de gestión integral que impacta en la organización de los procesos, la trazabilidad de la información y la toma de decisiones estratégicas (Vial, 2019). En este marco, el trabajo aborda la integración de las tecnologías 4.0 en la gestión ganadera, a fin de fortalecer la eficiencia operativa, la trazabilidad y la capacidad de decisión dentro de los sistemas productivos. Se estructura en cinco capítulos que articulan el diagnóstico del sistema (Capítulo I) con la caracterización de la GP (Capítulo II), la vigilancia tecnológica y la evaluación del potencial innovador (Capítulo III). Este análisis conduce a la identificación de problemáticas y oportunidades de mejora (Capítulo IV) y al diseño de un plan estratégico de implementación tecnológica adaptado a las condiciones de los establecimientos extensivos de menor escala (Capítulo V). Como resultado, se espera generar un aporte concreto que facilite la adaptación tecnológica del sistema de gestión ganadera frente a los nuevos requerimientos normativos.

La investigación se apoya en un enfoque cualitativo y descriptivo, basado en la revisión de fuentes secundarias académicas, técnicas e institucionales, junto con la recopilación de fuentes primarias que incluyen entrevistas a especialistas y relevamientos de tecnologías digitales aplicadas a la GP. El trabajo se desarrolla según el Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica (MOGIT), el cual permite organizar la información y las decisiones dentro de una hoja de ruta progresiva compuesta por las etapas: Vigilar, Focalizar, Capacitarse, Implantar y Aprender (Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, 1999).

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos que orientan el desarrollo de la tesis.

1.1 Objetivos

Objetivo general:

Examinar la integración de tecnologías 4.0 en la gestión de la ganadería bovina en Argentina, con punto de partida en la obligatoriedad de la identificación electrónica mediante caravanas, a fin de impulsar la transformación digital del sector y optimizar la gestión operativa, la trazabilidad y los procesos de toma de decisiones.

Objetivos específicos:

1. Diagnóstico de la situación actual de la ganadería en Argentina y relevamiento del marco normativo vigente.
2. Caracterización del sistema productivo de la ganadería de precisión.
3. Análisis de las tecnologías 4.0 en la gestión de la ganadería de precisión.
4. Identificación de oportunidades de mejora en la gestión ganadera a partir de la integración de tecnologías 4.0.
5. Propuesta de un plan de implementación tecnológica orientado a mejorar la gestión de la ganadería de precisión en el marco del nuevo contexto normativo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ganadería bobina

La ganadería bovina es una actividad del sector primario dedicada a la crianza y manejo de bovinos, como vacas, toros y terneros, con el fin de obtener alimentos y otros productos útiles para el ser humano. Además de referirse a la práctica productiva en sí, el término también puede aludir tanto al conjunto de animales que componen un rodeo como a las instalaciones utilizadas para su explotación. Esta actividad, al igual que la agricultura, se practica desde tiempos remotos y ha sido fundamental en el desarrollo de las sociedades humanas, no solo como fuente de carne y leche, sino también por su aporte en tareas rurales, transporte y la provisión de insumos como cuero, huesos o fertilizantes (Zambrano, 2015).

2.2 Cadena de valor

Según Iglesias (2002), se puede definir a la cadena de valor como “la colaboración estratégica de empresas con el propósito de satisfacer objetivos específicos de mercado en el largo plazo, y lograr beneficios mutuos para todos los “eslabones” de la cadena”.

El modelo de cadena de valor propone descomponer a la empresa en sus principales actividades estratégicas, entendidas como unidades generadoras de valor. Desde esta perspectiva, una organización no puede analizarse como un bloque homogéneo, ya que sus ventajas competitivas surgen a partir de las actividades específicas que lleva a cabo. En este sentido, cada uno de los eslabones que conforman la cadena representa una posible fuente de diferenciación y competitividad. El modelo funciona como una herramienta para identificar dónde y cómo se crean esas ventajas, al tener en cuenta tanto las actividades primarias como las de soporte, cuya relevancia está dada por el lugar que ocupan dentro de la secuencia operativa (Serra y Kastika, 2004).

2.3 Proceso productivo

El proceso productivo de la carne bovina en Argentina se estructura en una serie de etapas sucesivas que se originan en la cabaña y concluyen en la distribución de la carne y sus subproductos.

Según De Batista (2016) las cabañas constituyen el punto de partida del ciclo. Se especializan en la obtención y difusión de genética superior mediante la producción de reproductores (toros y vientres) y material seminal congelado. Su función principal es proveer a los establecimientos de cría de animales con elevados méritos productivos y adaptativos, lo que asegura la base genética del rodeo nacional.

La cría se orienta a la reproducción y obtención de terneros destetados. En esta fase se gestiona el servicio de las vacas, el control sanitario reproductivo y el manejo del destete. Predominan sistemas extensivos sobre pastizales naturales, con baja incorporación tecnológica y limitada sistematización de registros.

La etapa siguiente es la recría, que abarca el desarrollo del animal desde el destete hasta alcanzar un peso adecuado para su terminación. Su objetivo es promover un crecimiento armónico sin generar excesos de grasa, a fin de preservar la eficiencia del engorde posterior. Esta fase puede realizarse en pasturas naturales, mejoradas o con suplementación estratégica, y constituye un momento clave para mejorar la eficiencia del ciclo completo. La duración y el manejo de la recría varían según la zona agroecológica, la disponibilidad forrajera y el modelo productivo adoptado.

Por otro lado, el engorde representa la etapa final del ciclo primario y busca llevar al animal al peso y estado corporal óptimos para la faena. Puede realizarse mediante pastoreo directo en sistemas extensivos, en sistemas mixtos con suplementación, o bien en sistemas intensivos de confinamiento como el feedlot, que permiten una mayor ganancia diaria de peso y un control más estricto sobre las variables productivas. Esta fase es crítica desde el punto de vista de la eficiencia económica y la calidad del producto final.

Finalmente, la carne obtenida ingresa a la fase industrial, donde se realizan procesos de faena, desposte, empaque y conservación. Parte de la producción se destina al consumo interno y otra a la exportación.

La integración de los eslabones de cría, recría e invernada dentro de un mismo establecimiento da origen al denominado sistema de ciclo completo, modalidad mediante la cual el productor genera, recría y engorda sus propios terneros (Miceli, 2023).

2.4 Sistemas productivos

Los sistemas de producción de ganado bovino para carne comprenden todas aquellas modalidades comerciales cuyo objetivo contempla, de forma total o parcial, la crianza, reproducción y engorde de animales destinados al consumo. Estos sistemas pueden diferenciarse en función del nivel de intervención humana, el grado de confinamiento y el manejo de los recursos.

En los sistemas intensivos, el ganado permanece confinado y depende completamente del manejo humano para cubrir sus necesidades básicas, como la alimentación, el agua y el refugio. Por el contrario, los sistemas extensivos permiten que los animales se desplacen libremente en el entorno natural, y que accedan por sí mismos al alimento, a través del pastoreo, al agua y a zonas de sombra o refugio. Finalmente, los sistemas semi-intensivos combinan características de ambos modelos, ya sea en simultáneo o en distintos momentos, ajustándose a factores como las condiciones climáticas o el estado fisiológico de los animales (OIE, 2024).

2.5 Trazabilidad

La trazabilidad puede entenderse como la capacidad de reconstruir el historial, uso o ubicación de un producto o proceso a partir de una identificación previamente registrada. Este concepto implica, por un lado, la identificación del artículo mediante algún sistema de marcación, y por otro, el registro sistemático de los datos asociados a ese artículo a lo largo de todas las etapas de la cadena de valor, desde su origen hasta su destino final (FAO, 2016).

En este sentido, la identificación y el registro de los animales constituyen una herramienta fundamental en la producción ganadera, ya que sobre ellos se sustenta la trazabilidad alimentaria orientada a garantizar la seguridad del consumidor, al permitir el seguimiento de los productos de origen animal a lo largo de toda la cadena (Junta de Castilla y León, s.f.).

2.6 Gestión productiva

La gestión de la producción se refiere al conjunto de actividades interrelacionadas que intervienen en la transformación de distintos tipos de recursos dentro de un sistema productivo. Su finalidad es convertir insumos en productos o servicios que cumplan con los niveles de calidad requeridos (Cifuentes, 2021).

2.7 Ganadería de precisión

La GP se define como un enfoque de producción orientado a la gestión individual de los animales mediante el monitoreo automático, continuo y en tiempo real de su salud, bienestar, producción, reproducción e interacción con el ambiente, de modo de mejorar la eficiencia del sistema. Su implementación se sustenta en el uso de tecnologías digitales con el objetivo de ofrecer soluciones más precisas y sostenibles (Berckmans, 2017).

2.8 Transformación digital

La transformación digital es el proceso de cambio cultural, organizativo y relacional que se produce a partir de la incorporación de tecnologías digitales en los distintos ámbitos de una organización (Grottola, 2024). No se limita a la adopción de herramientas tecnológicas, sino que implica rediseñar procesos, estructuras y modelos de negocio para aprovechar el potencial de la digitalización (Vial, 2019). En este sentido, la transformación digital se traduce en la capacidad de generar, procesar y utilizar información en tiempo real para optimizar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia organizacional (Parviainen et al., 2017).

2.9 Industria 4.0

La Industria 4.0 se concibe como una nueva etapa del desarrollo industrial que integra los procesos productivos tradicionales con tecnologías digitales avanzadas y promueve la conexión entre el mundo físico y el digital. Este paradigma se sustenta en la automatización, la interconectividad, el análisis de datos en tiempo real y los sistemas ciberfísicos, lo que da lugar a entornos de producción inteligentes y flexibles. La Industria 4.0 representa una transformación estructural que redefine la organización del trabajo, los modelos de gestión y la generación de valor en las empresas (Sánchez et al., 2018).

2.10 Tecnologías 4.0

Las tecnologías 4.0 se entienden como el conjunto de soluciones digitales que impulsan la Industria 4.0. Se agrupan en las siguientes categorías:

- Internet de las Cosas (IoT): se define como un marco que conecta objetos físicos equipados con sensores, actuadores y capacidad de procesamiento a redes de comunicación, lo que permite el intercambio de datos entre dispositivos y sistemas digitales sin intervención humana directa. Su propósito central es integrar el mundo físico con el digital para generar entornos inteligentes basados en información (Sorri et al., 2022).
- Sistemas Ciberfísicos (CPS): son sistemas que integran componentes físicos con elementos computacionales, lo que permite modelar, simular y controlar procesos en tiempo real. Constituyen una nueva disciplina de la ingeniería, en la que convergen métodos de informática y de ingeniería, aplicados a entornos como manufactura, transporte, ciudades inteligentes o gestión de la salud (Rozo-García, 2020).
- Ciberseguridad: se refiere al conjunto de prácticas y tecnologías orientadas a proteger el uso, almacenamiento y transmisión de datos en infraestructuras digitales. En el contexto de la Industria 4.0, constituye un elemento crítico para garantizar confianza en la adopción de soluciones digitales y prevenir vulnerabilidades en entornos interconectados (Rozo-García, 2020).
- Cloud Computing y Edge Computing: cloud computing centraliza la información en repositorios escalables y seguros que permiten aplicar modelos analíticos y desarrollar herramientas para la toma de decisiones estratégicas. En cambio, el edge computing traslada el procesamiento de datos al punto de origen, como cámaras, sensores o dispositivos en campo, lo que reduce la latencia, optimiza los recursos y mejora la eficiencia operativa (TechTarget, 2021).
- Blockchain: concebida como una base de datos distribuida e inmutable, asegura trazabilidad, integridad y transparencia en las transacciones digitales. Inicialmente aplicada a criptomonedas, actualmente se proyecta en múltiples áreas de la Industria 4.0 como contratos inteligentes, trazabilidad en cadenas de suministro y gestión de activos digitales (Rozo-García, 2020).
- Inteligencia Artificial (IA): disciplina multidisciplinar que busca emular capacidades cognitivas humanas, como el aprendizaje, la percepción o la toma de decisiones. Sus subcampos incluyen machine learning, deep learning, redes neuronales y procesamiento del lenguaje natural. La IA potencia la capacidad de análisis de grandes volúmenes de datos, y permite anticipar fallas, optimizar recursos y generar recomendaciones automatizadas en procesos industriales (Rozo-García, 2020).
- Big Data: hace referencia a técnicas y soluciones que permiten gestionar volúmenes masivos de información caracterizados por las “5 V”: volumen, velocidad, variedad, veracidad y variabilidad. Su integración en entornos industriales posibilita convertir datos heterogéneos en conocimiento accionable para la toma de decisiones estratégicas (Rozo-García, 2020).
- Robótica: un robot industrial es definido por la ISO 8373 (2021) como “manipulador multifuncional, controlado de forma automática, reprogramable y programable en tres o más ejes, que puede permanecer fijo o ser móvil, destinado a aplicaciones de automatización industrial”. Dentro de la Industria 4.0, uno de los desarrollos más destacados en el campo de la robótica son los robots colaborativos (cobots), introducidos por General Motors en 1994. Estos dispositivos se distinguen de los robots tradicionales por su capacidad para operar junto a los trabajadores mediante sistemas

de seguridad avanzados y por los métodos de programación intuitivos y flexibles que facilitan su uso incluso por personal sin formación técnica específica (Wecobots, 2019).

- Realidad Aumentada y Realidad Virtual: la Realidad Aumentada constituye una tecnología que complementa el entorno físico mediante la incorporación de objetos digitales superpuestos a la realidad. Su aplicación en el ámbito industrial amplía las capacidades operativas de los trabajadores, al facilitar la simulación de modelos, la asistencia en la selección de piezas dentro de depósitos, la transmisión de instrucciones de reparación a través de dispositivos móviles y la capacitación de personal en escenarios virtuales. Por su parte, la Realidad Virtual crea escenarios completamente digitales que reproducen condiciones reales de operación y posibilitan la formación y el entrenamiento de los trabajadores (Basco et al., 2018).
- Manufactura Aditiva: es un conjunto de técnicas de producción que fabrican piezas mediante la superposición de capas de materiales a partir de un modelo digital, sin necesidad de moldes ni herramientas tradicionales (Basco et al., 2018).

2.11 Potencial innovador

El potencial innovador de una tecnología se entiende como su capacidad para generar transformaciones significativas en procesos, productos u organizaciones, lo que a su vez incrementa la eficiencia y fortalece la competitividad del sistema en el que se incorpora. Este concepto constituye un atributo que refleja el grado de novedad tecnológica y las oportunidades de impacto que ofrece en los planos económico, social y ambiental (Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, 1999; OCDE y Eurostat, 2005).

2.12 Innovaciones incrementales y disruptivas

Las innovaciones se clasifican según su grado de novedad e impacto en los procesos productivos. La innovación incremental se entiende como la introducción de mejoras progresivas en productos, procesos o servicios existentes, con el propósito de optimizar su desempeño y eficiencia sin modificar la estructura del sistema productivo. Por su parte, la innovación disruptiva implica la incorporación de cambios radicales que generan una ruptura con las prácticas establecidas, y transforman mercados y cadenas de valor (OCDE y Eurostat, 2005).

2.13 Modelo MOGIT

La Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica (1999) desarrolló el MOGIT como una herramienta metodológica para responder a las nuevas realidades competitivas y orientar la gestión de la innovación dentro de las organizaciones. Este modelo estructura las funciones esenciales del proceso innovador, y se organiza en cinco elementos clave:

- Vigilar: implica la exploración sistemática del entorno interno y externo con el fin de identificar señales de cambio o posibles oportunidades de innovación. Estas pueden derivar de la investigación, de la evolución normativa, de las demandas no satisfechas de los clientes, de la acción de competidores o de la aparición de nuevas tecnologías, y constituyen estímulos a los que la organización debe responder en forma proactiva.

- Focalizar: consiste en seleccionar la respuesta estratégica más adecuada y en asignar recursos para su implementación. Supone articular la estrategia tecnológica con el entorno y con la estructura operativa de la organización, lo que se traduce en la formulación de un Plan Estratégico Tecnológico.
- Capacitarse: se refiere a adquirir los conocimientos y recursos necesarios para ejecutar la estrategia. Ello puede lograrse mediante actividades internas de I+D+i o a través de mecanismos de transferencia tecnológica, alianzas estratégicas o innovación abierta. Más allá del conocimiento explícito de la tecnología, es fundamental dominar los saberes tácitos y complementarios que garantizan su funcionamiento efectivo.
- Implantar: corresponde a llevar la innovación a la práctica, al avanzar desde la idea inicial hasta su materialización como producto, servicio, proceso o método dentro de la organización.
- Aprender: representa la reflexión sistemática sobre los procesos y resultados alcanzados, y extrae lecciones tanto de los éxitos como de los fracasos, lo que permite retroalimentar y perfeccionar continuamente el modelo.

Cada organización debe, por lo tanto, diseñar su propio esquema de gestión de la innovación tecnológica de acuerdo con su estrategia y visión de futuro.

2.14 Vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica se concibe como un proceso orientado a identificar y evaluar avances tecnológicos relevantes para la competitividad de las organizaciones. Su propósito es detectar tanto cambios y discontinuidades en tecnologías existentes como la aparición de nuevas tecnologías con potencial impacto en productos, procesos, mercados y modelos de negocio. A su vez, permite conocer qué ocurre en un área tecnológica determinada, las líneas de investigación emergentes, los principales actores científicos y empresariales involucrados, y los equipos líderes en la materia. Para su implementación, resulta necesario definir con claridad qué aspectos vigilar, qué información buscar y dónde localizarla, además de establecer mecanismos adecuados de comunicación, destinatarios específicos y los recursos disponibles para sostener el proceso (Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, 1999).

2.15 Diagrama causa-efecto (Ishikawa)

El Diagrama de Ishikawa, también denominado diagrama causa-efecto o espina de pescado, constituye una herramienta gráfica que permite representar la relación entre un efecto específico y los posibles factores que lo originan. Su construcción exige precisar el problema o efecto a analizar y, posteriormente, identificar y organizar de manera estructurada las causas potenciales que lo explican (Ishikawa, 1991).

2.16 Análisis FODA

El análisis FODA se presenta como una herramienta práctica y accesible que permite a las organizaciones abordar de manera estructurada los desafíos vinculados al cambio tecnológico. Mediante la identificación y clasificación de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, esta metodología facilita una visión integral de la situación, al ofrecer una base sólida

para la formulación de estrategias orientadas a la innovación y la competitividad (Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, 1999).

2.17 Plan estratégico de implementación tecnológica

Un plan estratégico de implementación tecnológica constituye un instrumento de gestión que establece la hoja de ruta para la incorporación y aprovechamiento de tecnologías en una organización o sector productivo. Busca alinear las decisiones tecnológicas con los objetivos estratégicos y define etapas, recursos y métricas de seguimiento. En este sentido, la planificación estratégica se concibe como un proceso sistemático que vincula capacidades internas con las oportunidades del entorno (Hernández Sampieri y Mendoza Torres, 2018). Desde la perspectiva de la gestión de la tecnología, Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica (1999) sostiene que la incorporación de innovaciones debe estructurarse mediante procesos de vigilancia, focalización, capacitación, implantación y aprendizaje. De manera complementaria, Freije y Rodríguez Vidarte (1988) destacan que la planificación tecnológica es parte esencial de la estrategia empresarial y debe articularse con los procesos de innovación.

2.18 Mapa de procesos

El mapa de procesos es una representación gráfica que muestra de manera estructurada las actividades principales y de apoyo que conforman la cadena de valor de una organización. Su objetivo es visualizar cómo se interrelacionan los procesos, identificar entradas y salidas, y comprender el flujo de actividades desde una perspectiva sistémica (Gutiérrez Pulido, 2014). En el ámbito de la gestión de calidad, la norma ISO 9001 lo reconoce como una herramienta fundamental para comprender y documentar el sistema de gestión, al facilitar tanto la comunicación interna como la mejora continua (ISO, 2015).

2.19 Cronograma de Gantt

El cronograma de Gantt es una herramienta de planificación y control que permite representar de manera gráfica las actividades de un proyecto, al mostrar su secuencia temporal y su grado de avance. Fue desarrollado por Henry L. Gantt a comienzos del siglo XX, y desde entonces se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas en la gestión de proyectos (Wilson, 2003). Su principal utilidad radica en la posibilidad de visualizar de forma sencilla la duración prevista de las tareas, su interdependencia y el cumplimiento de plazos, lo que facilita la asignación de recursos y el seguimiento de la ejecución (Kerzner, 2017).

3. METODOLOGÍA

La investigación se enmarca en un enfoque cualitativo, con un alcance descriptivo y exploratorio. Según Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), los estudios cualitativos permiten comprender los fenómenos en su contexto natural e interpretar los significados que los actores les atribuyen. Este enfoque resulta pertinente, dado que la incorporación de tecnologías 4.0 en la ganadería bovina requiere un marco de análisis que integre la perspectiva de la gestión con los desafíos propios de la transformación digital. El alcance descriptivo del estudio se relaciona con el propósito de caracterizar los sistemas productivos ganaderos y las tecnologías digitales aplicadas a su gestión, a fin de reconocer sus componentes, actores y procesos. El alcance exploratorio se fundamenta en el análisis de la aplicación de herramientas digitales a la gestión ganadera, un fenómeno reciente y en desarrollo.

El diseño metodológico integra fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias abarcan entrevistas semiestructuradas a productores, proveedores tecnológicos y referentes institucionales del sector. Las fuentes secundarias incluyen literatura académica, reportes técnicos, documentos de organismos oficiales y registros de conferencias en exposiciones rurales.

En correspondencia con los objetivos específicos planteados, la metodología se estructura del siguiente modo:

1. Diagnóstico de la situación actual de la ganadería en Argentina y relevamiento del marco normativo vigente.

Se realiza un relevamiento del marco normativo vigente y se analizan datos secundarios provenientes de organismos oficiales como el SENASA y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), junto con información de reportes y documentos especializados. En paralelo, se llevó a cabo un relevamiento en establecimientos extensivos ganaderos de pequeña y mediana escala de la provincia de Buenos Aires, donde se observó la modalidad de gestión productiva y los mecanismos de registro empleados. Como parte del diagnóstico, se presenta la cadena de valor de la ganadería bovina tradicional.

2. Caracterización del sistema productivo de la ganadería de precisión

Se analizan publicaciones académicas, reportes técnicos y documentos institucionales que abordan la evolución de los procesos ganaderos frente a la digitalización. A partir de esta revisión, se construye una cadena de valor adaptada a la GP, utilizada como marco para caracterizar la integración de las tecnologías 4.0 en el sistema productivo y sus componentes principales.

3. Análisis de las tecnologías 4.0 en la gestión de la ganadería de precisión

Se desarrolla una vigilancia tecnológica destinada a identificar y analizar las principales tecnologías digitales aplicadas a la GP, tanto a nivel nacional como internacional. La metodología se enmarca en el modelo GIT de la Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica (1999), que orienta el proceso de gestión tecnológica mediante las etapas de Vigilar, Focalizar, Capacitarse, Implantar y Aprender. La búsqueda se realiza en dos etapas: una primera en idioma español, orientada a fuentes nacionales y regionales, y una segunda en inglés, centrada en literatura

científica internacional. Se emplean combinaciones de palabras clave asociadas a los pilares tecnológicos de la Industria 4.0, junto con operadores booleanos y filtros de pertinencia, actualidad y calidad de la información. Así, este procedimiento permite asegurar un proceso sistemático y reproducible. Los resultados obtenidos se contrastan entre sí para comparar las tecnologías relevadas a nivel nacional e internacional y determinar su grado de desarrollo, madurez y potencial de adopción en el sistema ganadero argentino. Se utiliza la herramienta radar como recurso analítico para representar de manera visual el perfil innovador de las tecnologías identificadas.

4. Identificación de oportunidades de mejora en la gestión ganadera a partir de la integración de tecnologías 4.0

Con el propósito de identificar las limitaciones estructurales del sistema y vincularlas con los beneficios potenciales de la digitalización, se aplican las herramientas diagrama causa-efecto y análisis FODA. Su elaboración se basa en la integración de distintas fuentes de información: entrevistas semiestructuradas a productores, proveedores tecnológicos y referentes institucionales; conferencias desarrolladas en exposiciones rurales entre 2022 y 2025; literatura académica especializada en gestión ganadera; y datos cuantitativos del Visualizador de Datos del MAGyP, que aportan información sobre percepciones y niveles de adopción tecnológica entre productores de distintas regiones del país. Las entrevistas efectuadas se presentan en el ANEXO, donde se detalla la fecha, el referente, una síntesis de los contenidos y los principales temas abordados en cada encuentro.

5. Proponer un plan de implementación tecnológica orientado a mejorar la gestión de la ganadería de precisión en el marco del nuevo contexto normativo

El diseño del plan de implementación tecnológica se sustenta en el modelo MOGIT de la Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica (1999), que concibe la gestión de la tecnología como un proceso continuo estructurado en cinco etapas: Vigilar, Focalizar, Capacitarse, Implantar y Aprender. En esta fase, el modelo se aplica de manera integrada y articula la información obtenida en la vigilancia tecnológica con la definición de prioridades, el fortalecimiento de capacidades internas, la ejecución de acciones y la evaluación de los resultados. La priorización de las tecnologías se desarrolla según el enfoque de Escorsa y Valls (2003), que plantea la necesidad de seleccionar aquellas con mayor impacto potencial y sobre las cuales el sistema posee un mayor grado de dominio. La estructuración del plan se realiza mediante la aplicación de las herramientas mapa de procesos y cronograma Gantt, que ordenan la información obtenida, definen la secuencia de actividades y coordinan la ejecución de las acciones priorizadas. Asimismo, se definen métricas de éxito para medir el avance del plan, verificar los resultados y orientar la mejora continua del sistema tecnológico.

4. DESARROLLO

CAPÍTULO I - Diagnóstico de la situación actual de la ganadería en Argentina y relevamiento del marco normativo vigente

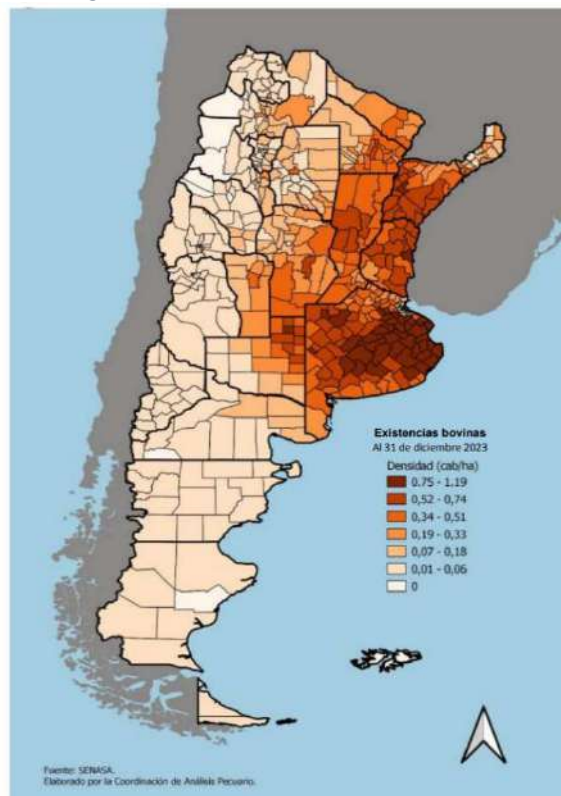
4.1 Situación actual de la ganadería bovina en Argentina

Argentina es uno de los países con mayor relevancia en ganadería bovina a nivel mundial. Ocupa el sexto lugar entre los principales productores de carne vacuna, con una producción estimada de 3,18 millones de toneladas sobre un total mundial de 60,4. Asimismo, a pesar de la caída en el consumo interno respecto al 2023, Argentina se mantiene como el país con mayor consumo per cápita de carne bovina a nivel global, con un valor de 48 kilos por habitante por año (APEA, 2024).

Según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) (2024a) al 31 de diciembre de 2023 Argentina registraba un stock bovino de 51.626.909 cabezas. A partir de Figura 1 se puede visualizar la distribución regional del rodeo en Argentina.

Figura 1

Densidad de existencias bovinas en Argentina en 2023



Nota. MAGyP, 2024a.

Como se puede observar, si bien la actividad bovina está presente en la totalidad del territorio nacional presenta marcadas disparidades espaciales. La mayor concentración productiva se localiza en la región pampeana que concentra más del 70 % del rodeo nacional (MAGyP, 2024a). Esta región incluye a las provincias de Buenos Aires, al sur de Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y el

noreste de La Pampa. A su vez, se puede apreciar cómo las densidades de existencias disminuyen hacia el oeste y sur del país.

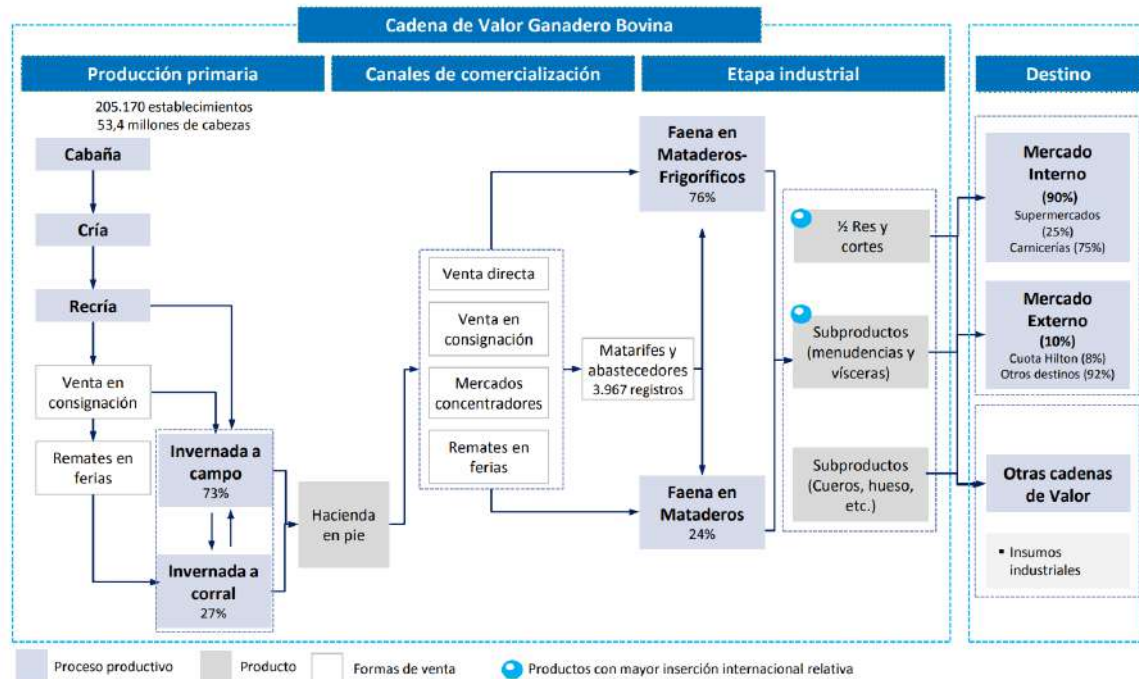
En particular, la provincia de Buenos Aires, mantiene su posición como la principal jurisdicción ganadera de Argentina. Según el informe de caracterización provincial, al 31 de diciembre de 2023, la provincia contaba con un stock bovino de 18.765.000 cabezas, lo que representaba aproximadamente el 36,4% del total nacional (MAGyP, 2024b).

En relación con la distribución de los establecimientos ganaderos, el Censo Nacional Agropecuario 2018 identificó que la provincia de Buenos Aires concentraba el 24 % de las explotaciones agropecuarias dedicadas a la ganadería bovina (INDEC, 2021). En el ámbito provincial, la estructura productiva presenta una marcada concentración: el 63 % de los establecimientos posee menos de 250 animales y reúne solo el 14 % del stock bovino, mientras que el 9 % de las explotaciones con más de 1.000 cabezas concentra el 54 % del rodeo total (Capdevielle, 2023).

4.2 Cadena de valor ganadero bovina

Seguidamente, en la Figura 2, se presenta un esquema de la cadena de valor de la ganadería bovina argentina, que muestra la articulación entre la producción primaria, la faena, el procesamiento industrial y los canales de comercialización. Esta integración asegura el abastecimiento de carne y subproductos tanto al mercado interno como al externo.

Figura 2
Cadena de valor de la ganadería bovina tradicional



Nota. CFI, 2024.

4.2.1 Sistemas de explotación

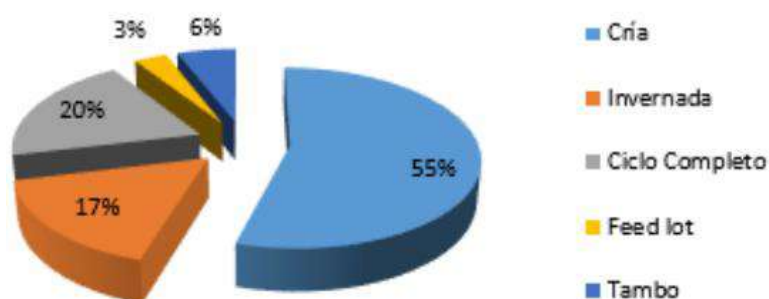
La estructura productiva del sector se basa en la coexistencia de sistemas extensivos, mixtos e intensivos, distribuidos de manera heterogénea a lo largo del territorio nacional. En el nivel de menor intensificación se ubican los sistemas extensivos a campo, caracterizados por requerir inversiones mínimas por hectárea y por cabeza. Su desempeño productivo depende de la disponibilidad estacional de forraje natural y de un manejo sanitario limitado a prácticas básicas. En un nivel intermedio se encuentran los sistemas mixtos, que combinan el pastoreo con encierres estratégicos, demandan inversiones moderadas, implementan planes sanitarios elementales y mantienen registros productivos parciales, con un uso más eficiente de los recursos forrajeros. En el extremo opuesto se sitúan los sistemas intensivos de confinamiento permanente, que exigen la mayor inversión de capital por animal, utilizan dietas energéticas balanceadas, reducen la actividad voluntaria del rodeo y aplican protocolos sanitarios rigurosos. Este tipo de sistemas permite alcanzar niveles máximos de productividad con dotaciones de mano de obra reducidas, pero altamente calificadas (De Batista, 2016).

Desde la perspectiva ambiental, la ganadería extensiva se destaca por su aporte a la conservación de hábitats, especies y ecosistemas asociados a la actividad ganadera, así como por su papel en el mantenimiento del equilibrio de los entornos naturales (Urvelarrea, citado en BBVA, 2022). Además, se considera un recurso estratégico para la adaptación al cambio climático, ya que ofrece resiliencia frente a la variabilidad ambiental y asegura la continuidad de la producción (Fundación Entretantos, s.f.).

4.2.2 Distribución nacional según el tipo de establecimiento productivo

La diversidad de sistemas productivos puede observarse en la distribución nacional del stock bovino según el tipo de establecimiento. Como se muestra en la Figura 3, la caracterización nacional confirma el predominio de los establecimientos de cría (55%), seguidos por los sistemas de ciclo completo (20%) y de invernada (17%). Los sistemas intensivos de engorde a corral (feedlot) representan el 3% del total bovino (MAGyP, 2024a).

Figura 3
Distribución de Cabezas por Sistema de Producción 2023



Nota. MAGyP, 2024a.

La composición presentada revela una estructura productiva heterogénea dominada por modelos de producción a campo con escasa incorporación tecnológica y, en menor medida, por esquemas mixtos e intensivos (De Batista, 2016).

4.3 Organismos competentes en sanidad, trazabilidad e innovación

En Argentina, el principal organismo encargado de la regulación sanitaria, la identificación y la trazabilidad del ganado bovino es el SENASA. A través de su Dirección Nacional de Sanidad Animal, este organismo interviene en diferentes etapas de la cadena de valor de la carne bovina, al implementar medidas orientadas a prevenir y controlar enfermedades de impacto productivo y comercial. Estas enfermedades no solo afectan la rentabilidad de los establecimientos ganaderos, sino que también representan restricciones técnicas en los mercados internacionales (APEA, 2024; SENASA, 2021).

El sistema se complementa con la intervención de otras instituciones. El MAGyP tiene un rol clave en la definición de políticas productivas y sanitarias, mientras que la Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP) actúa en los controles documentales y fiscales relacionados con la movilización de animales y productos cárnicos, mediante herramientas como el Documento de Tránsito Electrónico (DT-e). Esta articulación institucional sustenta el funcionamiento del sistema de trazabilidad vigente, tanto en sus aspectos sanitarios como logísticos (MAGYP, s.f.).

Asimismo, el sistema se fortalece con el aporte del INTA, organismo público de investigación y extensión que desempeña un rol estratégico en la generación y transferencia de conocimiento aplicado a la ganadería. A través de sus programas y centros regionales, el INTA impulsa innovaciones en sanidad animal, trazabilidad y tecnologías de gestión productiva, lo que contribuye a mejorar la competitividad del sector y a respaldar la implementación de políticas públicas (INTA, 2022).

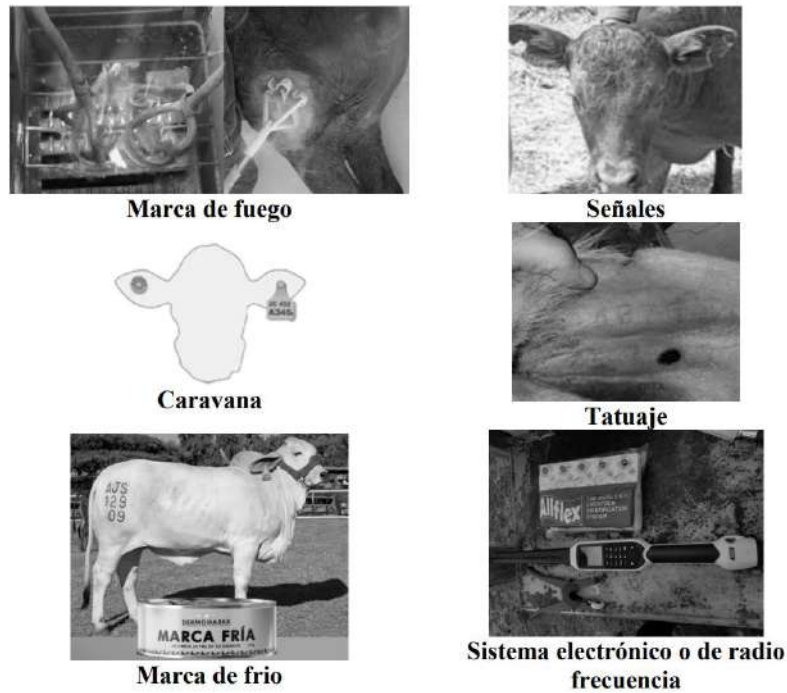
4.4 Trazabilidad en la ganadería bovina

4.4.1 Sistemas de identificación

En Argentina coexisten diversos sistemas de identificación animal que difieren en su precisión, finalidad y nivel tecnológico (Ver Figura 4). Diamela (2023) señala que los métodos tradicionales más extendidos son la marca a fuego, realizada sobre el cuero, y las señales, basadas en cortes o perforaciones en las orejas. Ambos procedimientos, regulados por el Código Rural, cumplen principalmente la función de acreditar la propiedad de los animales. A estas prácticas se suman otros recursos menos difundidos, como el tatuaje, empleado en razas puras, y la marca a frío, que deja una señal visible a partir del congelamiento. En paralelo, los sistemas de trazabilidad sanitaria incorporan tecnologías más avanzadas, entre las que se destacan las caravanas visuales y electrónicas. Estas últimas permiten individualizar cada animal y asociar su identificación con registros productivos y sanitarios.

En este sentido, la individualización constituye una condición necesaria para implementar cualquier sistema de trazabilidad, debido a que posibilita asociar cada unidad biológica con sus respectivos datos a lo largo del tiempo (FAO, 2016).

Figura 4
Sistemas de identificación animal



Nota. Diamela, 2023.

4.4.2 Marco Normativo

Desde mediados de la década del 2000, el Estado argentino ha avanzado progresivamente en la implementación de normativas orientadas a fortalecer la identificación individual del ganado bovino, como condición necesaria para garantizar la trazabilidad sanitaria, fiscal y comercial exigida por los mercados internacionales.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) creó el Sistema Nacional de Identificación Ganadera (SNIG) mediante la Resolución 103 de 2006, que designaba a SENASA como organismo responsable de su aplicación. Ese mismo año, la Resolución 754 de 2006 [SENASA] estableció la obligatoriedad de identificar individualmente a todos los terneros antes de su primer movimiento, mediante una caravana tipo botón-botón. La norma también introdujo la Clave Única de Identificación Ganadera (CUIG) para cada productor, fijó protocolos de reidentificación ante pérdida del dispositivo y determinó un sistema de colores según la categoría bovina. No obstante, esta obligatoriedad se limitaba a la fase primaria del sistema productivo y a la categoría ternero, por lo que la individualización se perdía en etapas posteriores como la faena o la comercialización, salvo en casos de certificación voluntaria.

Mediante la Resolución 356 de 2008 [SENASA], se implementó el Sistema Integrado de Gestión de Sanidad Animal (SIGSA), una plataforma digital que integra el Registro Nacional Sanitario de Productores Agropecuarios (RENSPA), las campañas de vacunación, los controles sanitarios y los movimientos autorizados de hacienda. A través de SIGSA, se emite el DT-e obligatorio para toda movilización de animales dentro del territorio nacional, que contiene información sobre el establecimiento de origen y destino, cantidad y categoría de los animales, motivo del traslado, transportista, vehículo y fecha prevista de movimiento (Gautreau, 2024).

En 2014, la AFIP incorporó el componente fiscal al sistema de trazabilidad mediante la Resolución General 3649 de 2014, que creó el Sistema Fiscal de Trazabilidad Animal (SIFTA). Esta normativa exigió el uso de caravanas botón-botón con la CUIG impresa, lo que permitió vincular cada animal con las transacciones comerciales registradas. Además, facilitó la asociación entre el animal y la unidad productiva de origen, y consolidó la trazabilidad sanitaria, fiscal y logística a lo largo del ciclo productivo.

Por su parte, la Resolución 257 de 2017 [SENASA] estableció que la identificación debía realizarse mediante una caravana única colocada en la oreja derecha e introdujo, por primera vez, la posibilidad de incorporar tecnología de radiofrecuencia (RFID) de baja frecuencia. Esta disposición sentó las bases para la transición hacia la identificación electrónica individual, clave para mejorar la precisión y eficiencia en el registro de datos.

En el año 2019, la Resolución 1698 de 2019 [SENASA] formalizó la creación del Sistema Nacional de Identificación Electrónica de Animales (SNIEA), el cual habilitó oficialmente el uso de dispositivos electrónicos en reemplazo o complemento de las caravanas visuales. La norma estableció requisitos técnicos para su homologación, procedimientos de carga de datos y la integración operativa con SIGSA, lo que permitió el registro digital y automatizado de eventos sanitarios y productivos. Tal como explica Arroquy (2023), especialista del INTA, “este tipo de herramientas asigna un 'DNI' a cada animal, lo que facilita su seguimiento y manejo individualizado”.

El gobierno argentino estableció la implementación obligatoria del SNIEA, con el propósito de consolidar la trazabilidad como herramienta estratégica para el posicionamiento internacional de la carne y, al mismo tiempo, fomentar la incorporación de tecnologías avanzadas orientadas a la mejora productiva. En este marco, la Resolución 71 de 2024 [SENASA] representa un hito normativo, debido que dispone la obligatoriedad de la identificación electrónica individual para bovinos, bubalinos y cérvidos. Entre sus fundamentos, la norma subraya que:

Los consumidores, tanto a nivel nacional como internacional, exigen cada vez más información de los procesos de producción de los alimentos, en lo relativo a producciones sostenibles, trazables, que tengan en cuenta el bienestar animal, los sistemas de alimentación natural y/o razas. (Resolución 71 de 2024 [SENASA]).

Además, establece un cronograma de implementación gradual en el cual a partir del 1 de marzo de 2025 los productores deberán identificar con tecnología electrónica a todos los terneros al destete o al primer movimiento. Antes del 31 de diciembre de 2025, deberá ser identificada toda categoría que no cuente con una identificación oficial previa. Finalmente, a partir del 1 de julio de 2026, la identificación individual electrónica será obligatoria para todas las categorías de bovinos, bubalinos y cérvidos. Con el objetivo de facilitar esta transición, el Estado Nacional asumirá la provisión, sin costo, de los dispositivos necesarios hasta el 30 de junio de 2026.

Sin embargo, este esquema fue modificado por la Resolución 530 de 2025 [SENASA], que prorrogó el inicio de la obligatoriedad de la identificación electrónica individual al 1 de enero de 2026 y mantuvo su carácter voluntario hasta el 31 de diciembre de 2025.

4.5 Gestión productiva actual en establecimientos ganaderos extensivos e intensivos

Según Capdevielle (2023), la gestión productiva en los establecimientos ganaderos extensivos depende en gran medida de tareas presenciales y registros no digitalizados, como cuadernos de campo y planillas impresas. Estos documentos constituyen, en muchos casos, la única herramienta disponible para el registro de información sanitaria, reproductiva y comercial. Esta realidad se corresponde con lo señalado por Tallarico et al. (2025), quienes destacan que en gran parte del sector agropecuario persiste una gestión basada en soportes manuales y dispersos, lo que evidencia la ausencia de sistemas digitales integrados y una limitada transferencia de la información a bases estructuradas.

Durante el relevamiento realizado en establecimientos ganaderos de pequeña y mediana escala de la provincia de Buenos Aires, se relevaron distintos formatos de planillas manuales utilizadas. A modo ilustrativo, se incluyen a continuación dos ejemplos representativos. En la Figura 5 se presenta un modelo de planilla orientado al control de existencias por categoría animal, mientras que en la Figura 6 se muestra un formulario utilizado para registrar ventas y movimientos de hacienda.

Figura 5
Planilla de control de existencias

ESTABLECIMIENTO:		FIRMA ENCARGADO:							
FECHA:		FIRMA CONTROL:							
CATEGORÍA	EXISTENCIA ANTERIOR	ENTRADAS			SALIDAS			EXISTENCIA ACTUAL	OBSERVACIONES
		NRO	FECHA	ORIGEN	NRO	FECHA	ORIGEN		
VACAS									
TOROS									
TERNEROS									
TERNERAS									
NOVILLOS									
VAQUILLONAS									
TOTAL VACUNOS									
OVEJAS									
CABALLOS									

MUERTOS:
OBSERVACIONES GENERALES:

Nota. Elaboración propia.

Figura 6
Planilla de ventas

Con intervención de		Fecha		N ° de operación	
Comprador		Vendedor			
Dirección		Dirección			
Cantidad	Descripción	Kg bruto	Tara	Kg neto	Precio
Cantidad	Descripción	Kg bruto	Tara	Kg neto	Precio
Cantidad	Descripción	Kg bruto	Tara	Kg neto	Precio
TOTALES	"	"	"	"	"
Lugar de pesada		Fecha		Controlada por	
Cargar el día	En estación	Destino	Cantidad de jaulas	C. de	Tarifas
Gastos					
Observaciones					

Nota. Elaboración propia.

Como se puede apreciar, en el primer caso, los datos se organizan según la categoría del animal (vacas, toros, terneros, vaquillonas, entre otros) e incluyen información sobre entradas (por nacimientos o compras), salidas (por ventas, faena o muertes), origen o destino, y observaciones generales. En el segundo caso, se detallan variables como cantidad de cabezas, peso bruto y neto, precios, importes, destino, fecha de carga y costos asociados, junto con espacio para observaciones generales.

El registro manual y sostenido de datos constituye una limitación importante para la gestión productiva que afecta tanto la eficiencia operativa como la capacidad de planificación estratégica. Por un lado, se genera una duplicación constante de registros, debido a que las mismas variables deben completarse en distintos documentos, como cuadernos de campo, declaraciones juradas exigidas por SENASA, formularios sanitarios y el DT-e. La falta de integración entre estos registros incrementa la carga administrativa, eleva el riesgo de errores y produce demoras en tareas rutinarias. A esto se le suma una alta dependencia del conocimiento tácito del encargado del establecimiento, quien concentra gran parte de la información sin mecanismos institucionales de respaldo (Taverna, 2021).

Además, la trazabilidad individual resulta prácticamente inviable. Aunque los animales están identificados con caravanas visuales, los registros se realizan por lote o categoría, lo que impide asociar eventos como nacimientos, tratamientos sanitarios, pesajes, preñeces o muertes con individuos específicos. Esta fragmentación limita las posibilidades de monitoreo, análisis y mejora continua (Capdevielle, 2023).

La persistencia de soportes manuales no responde únicamente a limitaciones tecnológicas, sino también a la falta de capacidades organizacionales, infraestructura digital y formación en gestión de datos. La digitalización implica, por tanto, un cambio cultural e institucional orientado a transformar la información en conocimiento útil para la planificación y la mejora continua. En este marco, se destaca la necesidad de avanzar hacia modelos integrados de digitalización que fortalezcan la trazabilidad y la toma de decisiones basadas en evidencia. Desde esta perspectiva,

los datos se consolidan como un recurso estratégico que potencia la eficiencia y la trazabilidad de los sistemas productivos (Tallarico et al., 2025).

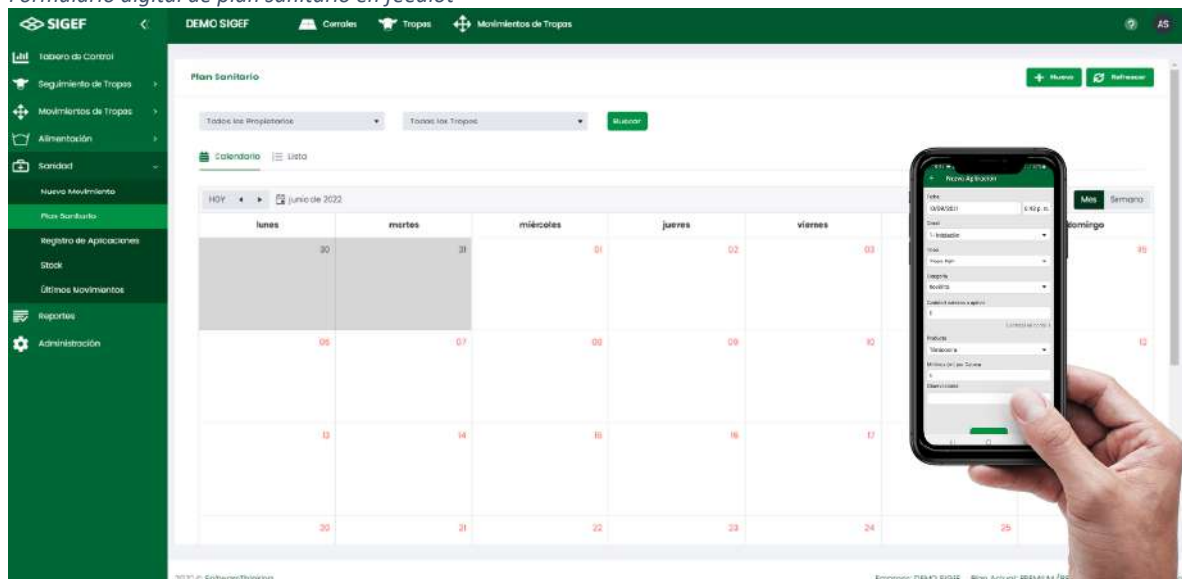
En la misma línea, Taverna (2021) subraya que la incorporación de dispositivos capaces de relevar automáticamente parámetros productivos, sanitarios y comportamentales a nivel individual constituye un eje central de la transformación digital, ya que estas tecnologías no solo incrementan la eficiencia operativa, sino que también redefinen las prácticas tradicionales de manejo y planificación.

En los sistemas ganaderos intensivos, la gestión productiva muestra un mayor grado de digitalización respecto de los modelos extensivos. Si bien en establecimientos de menor escala aún persisten registros manuales, la tendencia predominante es la adopción de plataformas digitales que integran la información sanitaria, nutricional y operativa del rodeo (Garro y Tallarico, 2022). La mayor concentración espacial, el acceso físico frecuente a los animales y la estandarización de los procesos productivos facilitan la incorporación de tecnologías de monitoreo y registro en tiempo real (INTA, 2022).

En este contexto, comienza a ampliarse el uso de herramientas específicas, tales como sensores para seguimiento sanitario y de comportamiento e identificación electrónica mediante RFID (Club Ganadero, 2023). No obstante, la digitalización en el sector ganadero argentino se encuentra en una etapa incipiente y heterogénea, condicionada por factores estructurales, limitaciones de conectividad y brechas de capacitación. Esta situación reproduce esquemas de gestión basados en registros dispersos y conocimiento tácito, que dificultan la trazabilidad y la toma de decisiones basada en datos (Tallarico et al., 2025).

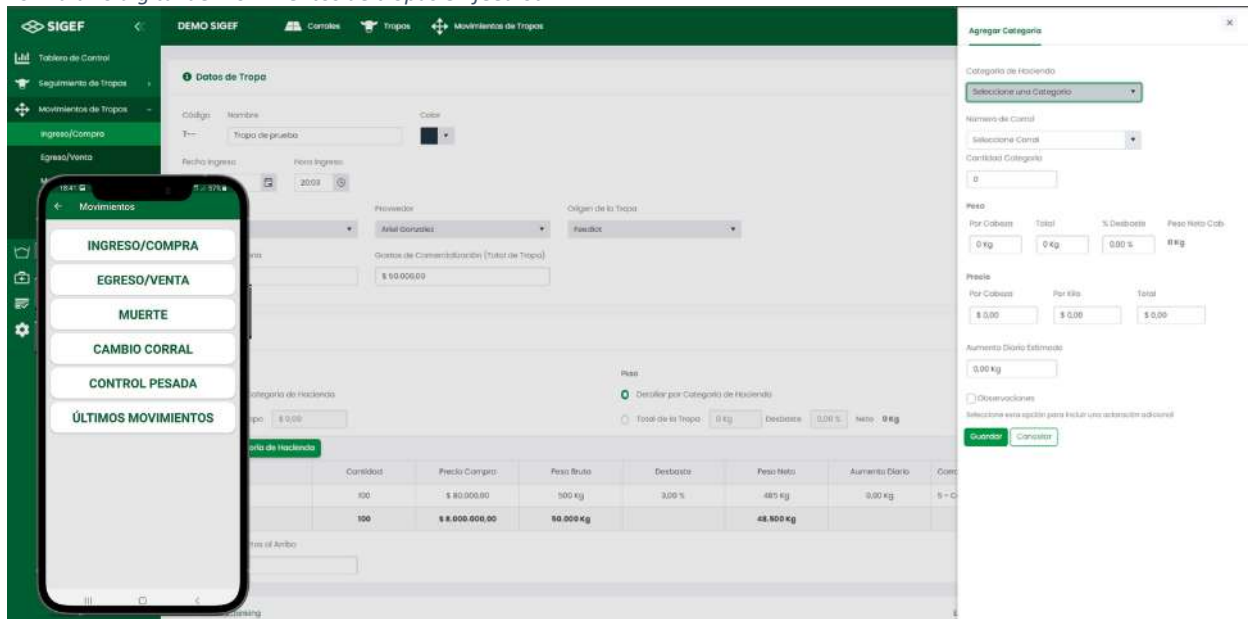
Seguidamente, se incluyen ejemplos de formularios digitales empleados en feedlots para el registro operativo de los animales. La Figura 7 presenta el calendario de plan sanitario utilizado para programar y registrar tratamientos, mientras que la Figura 8 muestra el formulario de movimientos de tropas, que permite documentar ingresos, egresos, ventas, muertes y pesajes.

Figura 7
Formulario digital de plan sanitario en feedlot



Nota. Imagen del software SIGEF para gestión ganadera, disponible en <https://sigef.com.ar>.

Figura 8
Formulario digital de movimientos de tropas en feedlot



Nota. Imagen del software SIGEF para gestión ganadera, disponible en <https://sigef.com.ar>.

4.6 Reflexiones del Capítulo I

Según Pierre Gautreau (2024) la modernización de la trazabilidad avanza de manera lenta y heterogénea, los procedimientos digitales coexisten con prácticas tradicionales y el principal desafío sigue siendo la aplicación universal de las normas por parte de los productores.

Desde esta perspectiva, el sistema actual de gestión ganadera en Argentina se enfrenta a una dualidad. Por un lado, un marco normativo que avanza hacia la trazabilidad digital obligatoria, por otro, una realidad productiva fragmentada, con predominio de registros manuales, escasa sistematización y baja adopción tecnológica.

Esta brecha limita la eficiencia operativa, restringe la toma de decisiones informadas y compromete el cumplimiento de las crecientes exigencias del mercado internacional. En este contexto, la implementación obligatoria de la identificación electrónica individual constituye un punto de partida para la modernización del sector. A partir de ella, la transformación digital se configura como una oportunidad estratégica para optimizar los procesos de gestión, integrar información en tiempo real, fortalecer el control sanitario y avanzar hacia un modelo de GP, capaz de incrementar la eficiencia y la competitividad en un entorno cada vez más exigente.

CAPÍTULO II - Caracterización del sistema productivo de la ganadería de precisión

4.7 Concepto y fundamentos de la ganadería de precisión

La GP representa un nuevo enfoque productivo que incorpora tecnologías digitales 4.0 para el registro y análisis en tiempo real de parámetros fisiológicos, sanitarios, reproductivos y comportamentales de los animales. A diferencia de la ganadería tradicional, basada en decisiones generalizadas sobre el rodeo, este modelo permite ajustar el manejo a las necesidades individuales de cada ejemplar y optimizar la eficiencia y el bienestar animal (Berckmans, 2017).

El concepto de GP surge a partir de la transferencia de los principios de la agricultura de precisión (AP) al ámbito ganadero, con el fin de optimizar procesos mediante la obtención, procesamiento y uso de datos específicos sobre el animal y su interacción con el ambiente (Galli et al., 2023). Su origen se remonta a la década de 1990 en Europa, cuando distintos centros de investigación comenzaron a aplicar herramientas tecnológicas en sistemas pecuarios intensivos, especialmente en el sector lechero, donde las condiciones de estabulación permitían una mayor automatización. Con el avance de las TIC y la creciente disponibilidad de sensores, plataformas digitales y soluciones de conectividad, el enfoque logró expandirse hacia otras modalidades productivas, incluida la producción de carne (Berckmans, 2017).

De este modo, la integración de las distintas tecnologías digitales permite no solo registrar eventos, sino anticipar comportamientos y tomar decisiones en tiempo real a partir de datos empíricos (Berckmans, 2017; Wongpiyabovorn, 2025). Así, uno de los aspectos más relevantes de la GP es su capacidad para ampliar el control del productor no solo sobre el animal, sino también sobre las tareas operativas del establecimiento.

Lachman y López (2018) proponen un esquema metodológico que permite representar de manera sistemática el funcionamiento de la GP, estructurado en cuatro etapas sucesivas e interdependientes (Ver Figura 9).

Figura 9
Esquema metodológico de la AP y la GP

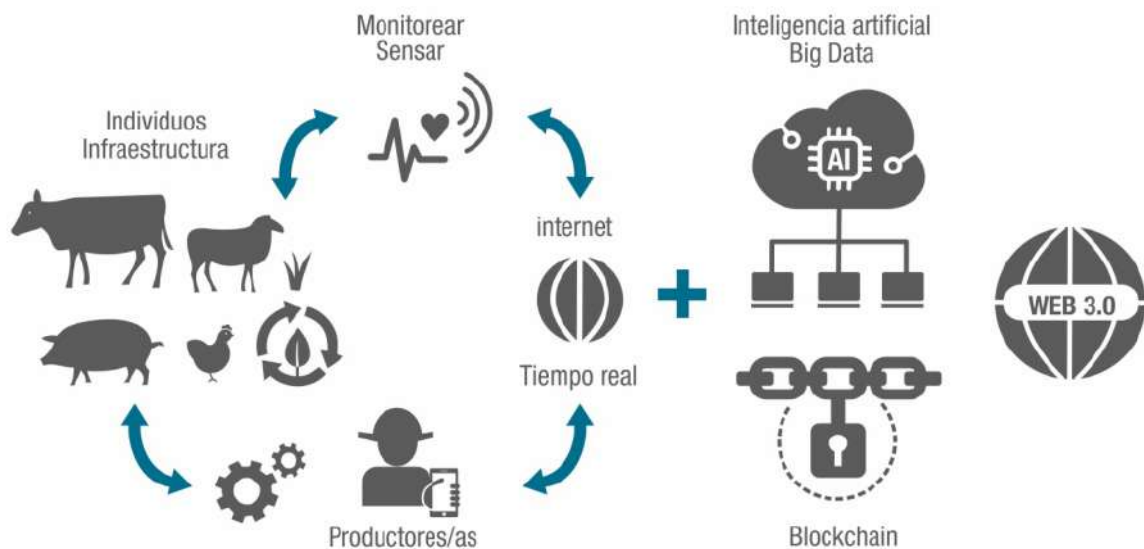


Nota. Lachman y López, 2018.

La primera etapa corresponde a la recolección de datos, apoyada en tecnologías IoT que posibilitan captar datos vinculados con los animales, el ambiente y la infraestructura del establecimiento. En la segunda etapa, esa información es organizada y procesada mediante plataformas de Big Data y esquemas de cloud o edge computing, lo que permite convertir grandes volúmenes de datos en indicadores significativos para la gestión. La tercera etapa se orienta a la toma de decisiones, donde la IA y el análisis avanzado transforman esos indicadores en recomendaciones específicas que guían el manejo productivo y sanitario. Finalmente, en la cuarta etapa, las prescripciones se materializan a través de sistemas de automatización y robótica, que ejecutan las acciones operativas definidas y consolidan un circuito de retroalimentación continua.

A partir de esta secuencia funcional, resulta necesario considerar la infraestructura tecnológica que permite llevar a cabo este modelo en condiciones reales. Tal como lo plantean Garro y Tallarico (2022), esta estructura digital constituye la base operativa del sistema al permitir la conexión dinámica entre los datos provenientes de sensores, los algoritmos de análisis y las acciones prescriptivas ejecutadas (Ver Figura 10). Este modelo se sostiene en el monitoreo continuo de variables vinculadas tanto a los animales como al ambiente y la infraestructura del establecimiento.

Figura 10
Integración tecnológica en ganadería de precisión

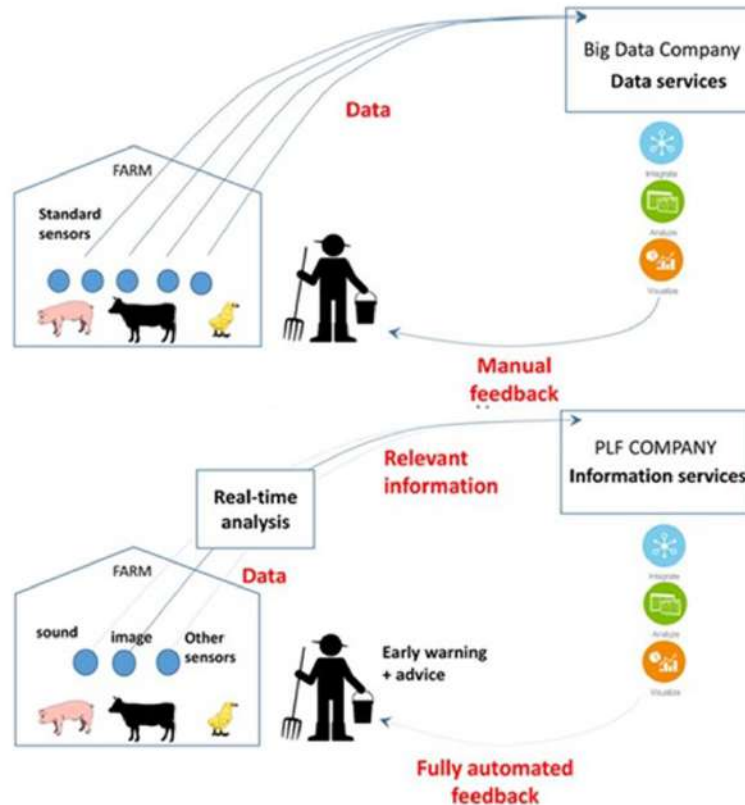


Nota. Garro y Tallarico, 2022.

Tal como se puede apreciar, la Figura 10 ilustra el flujo de información como un ciclo dinámico de retroalimentación en el cual los datos circulan desde el entorno productivo hacia los sistemas digitales y retornan al productor en forma de alertas, diagnósticos o recomendaciones automatizadas. Este circuito implica una reorganización del trabajo dentro del establecimiento, donde el productor deja de centrarse exclusivamente en la ejecución manual de tareas para asumir un rol más analítico, orientado a la interpretación de datos y la validación de decisiones generadas por el sistema (Garro y Tallarico, 2022).

Ahora bien, la implementación de esta retroalimentación puede variar en su grado de automatización. Tal como se observa en la Figura 11, el flujo de información puede implicar una instancia de análisis y respuesta manual por parte del productor o, en sistemas más avanzados, un esquema de retroalimentación completamente automatizada, donde el sistema genera advertencias, recomendaciones y acciones sin necesidad de intervención humana directa.

Figura 11
Modalidades de retroalimentación al productor



Nota. Berckmans, 2017.

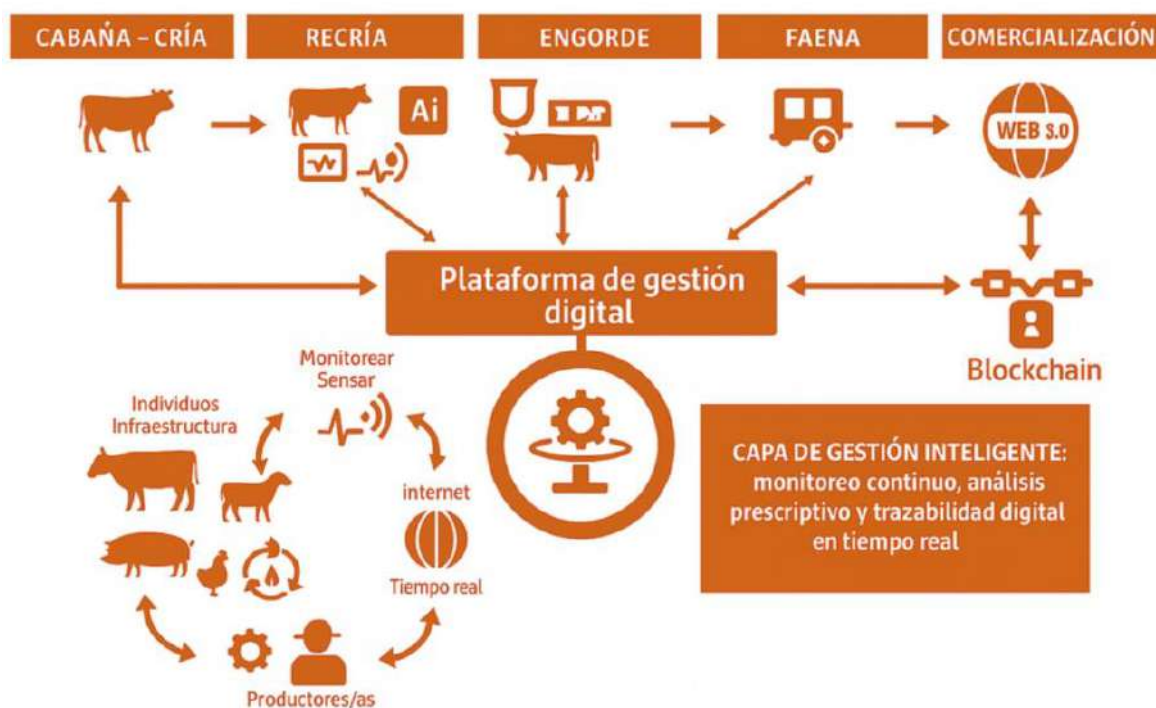
4.8 Cadena de valor de la ganadería de precisión

La cadena de valor ganadera bovina tradicional en Argentina (Ver Figura 2) describe un proceso lineal basado en etapas productivas claramente diferenciadas y en su mayoría gestionadas mediante herramientas empíricas, escasa digitalización y baja trazabilidad (De Batista, 2016; MAGyP, 2024a).

La incorporación de tecnologías digitales genera una transformación transversal que afecta la forma en que se registra, procesa y utiliza la información a lo largo de todo el circuito. Esta transición no implica una ruptura con la secuencia funcional tradicional, pero sí establece una nueva lógica operativa basada en evidencia objetiva, monitoreo permanente y adaptación continua. El productor deja de intervenir de manera aislada en cada etapa para formar parte de un sistema interconectado, donde la información circula entre eslabones y habilita intervenciones más oportunas, trazables y eficientes.

En este marco, resulta necesario revisar cómo se estructura la cadena de valor ganadera bovina cuando se incorpora la lógica operativa de la GP. Si bien existen esquemas consolidados que describen el circuito productivo convencional, no se han identificado representaciones que integren de manera sistemática los aportes tecnológicos en cada uno de sus eslabones. Por tal motivo, en la Figura 12 se presenta un esquema conceptual que articula ambos enfoques, donde se evidencia la integración tecnológica en cada eslabón del proceso productivo.

Figura 12
Cadena de valor ganadera bovina adaptada a la GP



Nota. Elaboración propia basada en Garro y Tallarico (2022).

4.9 Reflexiones del Capítulo II

La GP redefine la lógica operativa del sistema productivo al incorporar tecnologías que permiten gestionar con mayor precisión, anticipación y eficiencia las actividades ganaderas. Esta transformación no altera la secuencia funcional del proceso, pero introduce una dinámica interconectada basada en información empírica y automatización progresiva.

Tal como advierten Norton et al. (2019), no se trata simplemente de incorporar dispositivos, sino de construir una arquitectura digital capaz de sostener un circuito integrado de monitoreo, análisis y acción. En este sentido, la plataforma de gestión digital representada en la Figura 12 se consolida como el núcleo articulador del sistema, al reunir los flujos de datos generados en cada eslabón y posibilitar su interoperabilidad.

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, impulsa la colaboración y posibilita la construcción colectiva de soluciones a partir del uso compartido de información. Esta perspectiva promueve un modelo de gestión ganadera inteligente, donde la integración tecnológica permite convertir los datos en conocimiento aplicable y en mejoras continuas del sistema productivo.

CAPÍTULO III - Análisis de las tecnologías 4.0 en la gestión de la ganadería de precisión

4.10 Vigilancia tecnológica de las tecnologías 4.0

Las tecnologías digitales aplicadas a la GP han experimentado una evolución sostenida, con innovaciones adaptables tanto a sistemas intensivos como extensivos (Wongpiyabovorn et al., 2025). La implementación concreta de estas tecnologías depende del tipo de sistema productivo, las condiciones locales y el eslabón específico dentro de la cadena de valor, lo que da lugar a distintos niveles de adopción y aplicación en los procesos ganaderos.

Con el fin de identificar y sistematizar dichas innovaciones, se llevó a cabo una vigilancia tecnológica orientada a relevar las principales tecnologías digitales aplicadas a la GP. En total se obtuvieron 43 resultados iniciales, de los cuales 5 estaban redactados en español y 38 en inglés.

En una primera instancia, se realizaron búsquedas en español de carácter general, en donde se emplearon términos como “ganadería de precisión”, “industria 4.0 en la GP”, “tecnologías 4.0 en ganadería” e “integración de tecnologías a la ganadería”. Posteriormente, la estrategia se refinó mediante búsquedas específicas por pilar tecnológico, en las que se emplearon expresiones como: “IoT en la ganadería”, “Sensores en GP”, “IA en ganadería”, “Big data en ganadería”, “Cloud computing en ganadería”, “Edge computing en ganadería”, “Ciberseguridad ganadera”, “Blockchain en ganadería”, “Trazabilidad blockchain”, “Robótica en ganadería”, “Realidad aumentada en ganadería”, “Realidad virtual en ganadería” y “Manufactura aditiva en ganadería”. La mayoría de los dichos resultados correspondieron a aportes de instituciones nacionales como el INTA, junto con publicaciones de investigadores locales que presentaban experiencias aplicadas o prototipos en desarrollo. Si bien estos materiales resultaron valiosos para contextualizar la situación argentina, su alcance fue limitado.

Por este motivo, se decidió continuar la búsqueda con palabras claves en inglés, lo que permitió acceder a la mayor parte de la literatura científica específica. En esta etapa, se formularon cadenas de búsqueda por pilar tecnológico, tales como “Precision livestock farming”, “IoT PLF”, “RFID cattle”, “AI cattle”, “Machine learning livestock”, “Big data livestock”, “Cyber-physical systems livestock”, “Cloud computing PLF”, “Edge computing cattle”, “Livestock cybersecurity”, “Blockchain livestock”, “Robotics cattle”, “Robotics feedlot”, “Virtual reality PLF” y “3D printing livestock feed”.

Para refinar los resultados de ambas búsquedas, se empleó el operador booleano AND para combinar conceptos, comillas para la búsqueda de frases exactas y abreviaturas frecuentes en la literatura como “IA”, “GP” y “PLF” (Precision Livestock Farming).

Se utilizaron los motores de búsqueda Google Scholar (Google Académico) y Google, con acceso a repositorios académicos y portales científicos como MDPI, Taylor & Francis, Cambridge Core, IEEE Xplore, SpringerOpen, ResearchGate, Frontiers, AgEcon Search y el Repositorio Digital del INTA.

Completada la etapa inicial de búsqueda, se implementó un filtrado estructurado según los siguientes tres criterios:

- Pertinencia temática: se descartaron trabajos enfocados en otras especies (avicultura, porcinos, ovinos) o en AP, ya que el objeto de estudio se centra exclusivamente en la ganadería bovina.
- Actualidad: se priorizó literatura reciente y se eliminaron documentos desactualizados. El corpus final se concentró entre los años 2016 y 2025, y se excluyeron los anteriores por considerarse desactualizados respecto a las tecnologías 4.0 aplicadas a la ganadería.
- Calidad y aplicabilidad: se descartaron fuentes duplicadas, documentos demasiado generales y materiales sin sustento académico ni institucional verificable.

Como resultado de este proceso, los 43 documentos iniciales se redujeron a 35 tras eliminar los que abordaban otras especies o enfoques distintos de la ganadería bovina. Luego, la exclusión de trabajos desactualizados, publicados antes de 2016, acotó el número a 30. Por último, se descartaron materiales duplicados, excesivamente generales o provenientes de fuentes sin procedencia confiable, lo que dejó un total de 27 referencias finales compuestas por 24 en inglés y 3 en español.

Esta vigilancia tecnológica aseguró un proceso sistemático y reproducible, que permitió identificar las tecnologías digitales más relevantes y recientes aplicadas a la ganadería bovina al integrar literatura internacional y aportes nacionales.

A continuación, se presentan las tecnologías identificadas, organizadas según los pilares de la Industria 4.0.

4.10.1 Internet de las Cosas (IoT)

El IoT se ha consolidado como uno de los pilares de la GP, al posibilitar la captura y transmisión de datos en tiempo real sobre animales, ambiente y recursos productivos. La información captada por dispositivos IoT es generada de manera continua y confiable y constituye el punto de partida indispensable para la integración con otras tecnologías 4.0 como IA, blockchain y cloud computing.

Una de las aplicaciones más consolidadas de la GP corresponde a la identificación electrónica mediante sistemas RFID y caravanas inteligentes. Estas herramientas constituyen la base de la trazabilidad individual y posibilitan la captura continua de datos sobre producción y bienestar animal. Al ser integradas en CPS basados en IoT, permiten el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones automatizada (Terence et al., 2024). A su vez, la incorporación de blockchain refuerza la seguridad y la transparencia de los datos generados porque garantiza la inmutabilidad de los registros y posibilita una trazabilidad verificable e interoperable a lo largo de la cadena de valor (Yang et al., 2025).

En paralelo, los biosensores permiten monitorear en forma continua el estado fisiológico de los animales, anticipar problemas digestivos o sanitarios y construir perfiles individuales de salud y bienestar al integrarse con plataformas cloud y algoritmos de IA. Se distinguen entre invasivos y no invasivos. Dentro de los biosensores invasivos, se encuentran los bolos ruminales que registran pH, temperatura y conductividad, mientras que en los no invasivos se destacan los collares con acelerómetros, micrófonos para tos, cámaras térmicas y sensores de presión en balanzas (Bernabucci et al., 2025; Caja et al., 2016).

Las prestaciones de estos dispositivos se ven reforzadas mediante redes de comunicación de baja potencia (LoRa-WAN). Constituyen una tecnología diseñada para transmitir datos a largas distancias con un consumo energético mínimo, lo que las hace especialmente adecuadas para sensores y collares en sistemas extensivos. De manera complementaria, la conectividad satelital de constelaciones de baja órbita introduce un esquema de comunicación de alta velocidad y baja latencia que permite sostener el flujo continuo de información en áreas sin cobertura tradicional, al integrarse de manera natural con arquitecturas de edge computing (Jouhari et al., 2023).

Por otro lado, las balanzas automáticas y los sistemas de pesaje electrónico permiten registrar peso y tasa de crecimiento de forma autónoma. Al combinarse con Big Data y modelos de IA, generan predicciones sobre el desempeño individual y optimizan la planificación productiva (Brancher et al., 2024; Tekin et al., 2021). De manera complementaria, los pasturómetros electrónicos georreferenciados estiman la disponibilidad forrajera en tiempo real. Cuando sus mediciones se combinan con información proveniente de drones o satélites, conforman sistemas híbridos que utilizan técnicas de teledetección para evaluar con mayor precisión la cantidad y calidad de las pasturas. Estas herramientas permiten ampliar la escala de observación y optimizar la planificación del pastoreo (Bernabucci et al., 2025; Nyamuryekung'e et al., 2023).

Otro desarrollo destacado dentro del IoT son las pistolas vacunadoras inteligentes. Estas herramientas permiten aplicar una dosis exacta según la categoría y el peso de cada animal. Al combinarse con sistemas de identificación electrónica, GPS y plataformas cloud, consolidan reportes e historiales sanitarios individuales y georreferenciados accesibles en la web. Esta integración fortalece la trazabilidad, mejora la precisión en la gestión sanitaria y contribuye a la transformación digital del sistema productivo (Villaruel et al., 2020). Además, posibilitan registrar digitalmente los tratamientos aplicados, generar actas de vacunación en tiempo real y enviarlas por correo electrónico a productores u otros destinatarios. Dicha información queda almacenada en la nube, puede administrarse en plataformas de gestión y exportarse para informar reportes sanitarios completos (Díaz Offeney, 2019).

Por otro lado, los sistemas de monitoreo de aguadas incorporan sensores de nivel y caudal que registran el estado de tanques, represas o bebederos colectivos. Estos dispositivos transmiten información en tiempo real y generan alertas tempranas ante fallas en la provisión de agua, lo que resulta fundamental para prevenir pérdidas. Su utilidad se potencia al integrarse con plataformas cloud que centralizan el estado de los diferentes puntos de abastecimiento. Asimismo, alcanza un nivel superior cuando se articula con CPS capaces de accionar de forma automática bombas o válvulas para restablecer el suministro. (Bernabucci et al., 2025; Brancher et al., 2024).

Otro desarrollo destacado es el cercado virtual, una tecnología que se presenta como alternativa a las cercas físicas convencionales y que aporta mayor flexibilidad al manejo del pastoreo. Esta herramienta se basa en collares inteligentes equipados con GPS, capaces de generar límites invisibles de desplazamiento que pueden modificarse desde una plataforma digital según las condiciones del terreno o las estrategias de manejo. El principio de funcionamiento radica en que, cuando el animal se aproxima al límite virtual establecido, el dispositivo emite primero una señal sonora de advertencia y, en caso de persistir la conducta, aplica un estímulo eléctrico de baja intensidad, suficiente para inducir el retroceso sin generar daño. Esta tecnología permite

optimizar el uso de los recursos forrajeros y reducir los costos de infraestructura, al tiempo que facilita un manejo más dinámico y sustentable del rodeo (Bernabucci et al., 2025).

4.10.2 Sistemas Ciberfísicos (CPS)

La incorporación de CPS en la ganadería permite automatizar procesos al articular la información captada por sensores con plataformas de gestión y generar respuestas inmediatas mediante dispositivos robóticos. Este acoplamiento aumenta la eficiencia operativa y mejora el bienestar animal (Bernabucci et al., 2025; Tekin et al., 2021). Los CPS integran datos de origen animal, forrajero y ambiental en tableros digitales que facilitan la toma de decisiones en tiempo real y favorecen la estandarización de la información productiva.

A partir de la información registrada, los sistemas ajustan raciones en comederos inteligentes según el historial de crecimiento, regulan tranqueras electrónicas para ordenar el acceso a potreros y derivan animales a corrales de observación cuando se detectan alteraciones sanitarias. También accionan sistemas de climatización automática mediante ventiladores, rociadores o cortinas, lo que garantiza condiciones de confort animal y reduce pérdidas productivas asociadas al estrés térmico (Bernabucci et al., 2025; Tekin et al., 2021).

Los CPS amplían su alcance al incorporar sistemas acústicos y de visión artificial capaces de diferenciar pastoreo y rumia. Con soporte de edge computing, procesan los datos en tiempo real lo que posibilita la detección de anomalías en el consumo y el ajuste automático de raciones (Bernabucci et al., 2025). Esta integración, permite procesar la información directamente en los dispositivos, disminuye la necesidad de transmisión constante a la nube y asegura la continuidad operativa en regiones con baja conectividad (Jouhari et al., 2023).

En el plano reproductivo, los CPS combinan información de GPS y acelerómetros para identificar patrones de movimiento asociados al celo o a partos inminentes, lo que habilita la generación automática de alertas y la activación de protocolos preventivos (Bernabucci et al., 2025).

4.10.3 Ciberseguridad

La ciberseguridad asegura la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información en entornos digitalizados. La incorporación de dispositivos IoT, plataformas cloud y sistemas de trazabilidad genera volúmenes crecientes de datos estratégicos cuya protección resulta indispensable para evitar accesos indebidos, manipulaciones en los registros y riesgos asociados a la continuidad operativa (Neethirajan, 2025).

En este ámbito, las tecnologías de la Industria 4.0 aplicadas a la protección digital incluyen múltiples enfoques complementarios. Los protocolos de encriptación avanzada y la autenticación multifactor constituyen la primera línea de defensa para resguardar la información crítica vinculada con trazabilidad y certificaciones. A ello se suma la IA aplicada a la detección de anomalías, que permite identificar patrones inusuales en los flujos de datos y anticipar ataques como ransomware o denegaciones de servicio mediante respuestas automáticas (Neethirajan, 2025). Otro desarrollo corresponde a la videovigilancia inteligente, que integra cámaras digitales con algoritmos de visión artificial capaces de reconocer intrusiones o conductas anómalas en establecimientos ganaderos (Delwar et al., 2025). De manera paralela,

los dispositivos IoT de seguimiento refuerzan la seguridad mediante la transmisión cifrada de datos relacionados con la localización y el estado sanitario de los animales (Balaji et al., 2024).

A estas soluciones se suman las Privacy-Enhancing Technologies (PETs), que facilitan el intercambio de datos entre diferentes actores de la cadena de valor sin comprometer la confidencialidad (Neethirajan, 2025).

También se destaca el papel de blockchain como refuerzo de la seguridad digital, al garantizar registros resistentes a manipulaciones y proveer un soporte confiable para certificaciones sanitarias y comerciales (Patel et al., 2023). En paralelo, la expansión de edge computing en los CPS y en las plataformas ganaderas desplaza parte del procesamiento hacia dispositivos instalados en el propio establecimiento, como gateways o estaciones de campo. Este esquema reduce la dependencia de la nube y, a la vez, introduce desafíos de ciberseguridad. La protección de estos datos exige autenticación ligera, firewalls distribuidos y cifrado adaptativo, con el objetivo de preservar la continuidad operativa en zonas de baja conectividad (Bernabucci et al., 2025).

4.10.4 Cloud y Edge Computing

Cloud y edge computing se constituyen como tecnologías de procesamiento y almacenamiento de datos que posibilitan la consolidación y el análisis en tiempo real de información productiva, sanitaria, reproductiva, económica y climática. Su utilización permite organizar grandes volúmenes de datos en tableros digitales, generar reportes automatizados y sustituir registros manuales, con efectos directos en la eficiencia operativa y en la reducción de errores.

En particular, las plataformas cloud centralizan datos provenientes de sensores, estaciones meteorológicas o drones, y aseguran su recuperación eficiente, gestión organizada y análisis avanzado (Dineva y Atanasova, 2022; He et al., 2024). Además, promueven entornos colaborativos y abiertos, que facilitan el intercambio de información entre productores, investigadores y proveedores tecnológicos (Dineva y Atanasova, 2022).

Entre sus aplicaciones más relevantes se encuentran los sistemas de monitoreo sanitario que captan variables fisiológicas como temperatura, actividad o frecuencia ruminal y las procesan en la nube para generar alertas tempranas y tableros de control accesibles en tiempo real, lo que favorece el bienestar animal y la prevención de enfermedades (Tekin et al., 2021). De manera complementaria, los entornos cloud permiten el desarrollo de gemelos digitales, que integran datos productivos y fisiológicos para simular escenarios de manejo y anticipar riesgos mediante réplicas virtuales del rodeo (Nyamuryekung'e et al., 2023). También se aplican a plataformas de visión computacional cloud que procesan imágenes 3D de los animales y facilitan la estimación objetiva de peso o condición corporal (Dang et al., 2023), así como a sistemas integrados de gestión ganadera que unifican información sanitaria, productiva y ambiental en un mismo entorno digital (Nyamuryekung'e et al., 2023).

En cuanto al 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 (He et al., 2024). La integración de esta tecnología en collares inteligentes, caravanas electrónicas y balanzas automáticas posibilita el procesamiento local de datos

vinculados al movimiento, peso y actividad ruminal, con la emisión de alertas inmediatas y una mayor eficiencia operativa al prescindir de la transmisión constante a la nube (Yu et al., 2024).

En los sistemas de visión artificial, el procesamiento edge permite analizar imágenes captadas por cámaras instaladas en corrales o pasillos y así identificar cojeras, partos inminentes o variaciones en la condición corporal en tiempo real (Tekin et al., 2021). De forma complementaria, sensores ambientales conectados a plataformas edge monitorean temperatura, humedad o gases en feedlots y activan de manera automática sistemas de ventilación o aspersores. En el plano forrajero, dispositivos locales asociados a pasturómetros o estaciones meteorológicas procesan la información directamente en el terreno para ajustar raciones o abrir tranqueras electrónicas sin demoras (He et al., 2024).

En contextos con conectividad limitada resultan relevantes las arquitecturas híbridas que combinan almacenamiento y procesamiento local con sincronización hacia la nube. De esta forma, aseguran bajo consumo de ancho de banda, menor latencia y continuidad operativa, incluso ante interrupciones de conexión (Dineva y Atanasova, 2022; He et al., 2024).

4.10.5 Blockchain

Blockchain se orienta a reforzar la seguridad y la transparencia de la información ganadera a través de registros distribuidos, inalterables y verificables. Su aplicación más extendida corresponde a la trazabilidad individual, al consolidar historiales únicos de origen, sanidad y alimentación que integran los datos generados por sistemas de identificación electrónica (Yang et al., 2025).

Los contratos inteligentes automatizan certificaciones sanitarias, productivas y comerciales, lo que reduce los costos de transacción y los errores humanos. De forma complementaria, la tokenización de activos ganaderos habilita la representación digital de cabezas de ganado o superficies de tierra para operaciones de financiamiento en entornos digitales verificables (Patel et al., 2023). Otra línea de aplicación corresponde al almacenamiento distribuido de datos, que disminuye la dependencia de servidores centralizados y refuerza la resiliencia frente a fallos o ataques.

Blockchain también se aplica como soporte de auditorías y certificaciones vinculadas a prácticas sustentables, al generar registros verificables sobre bienestar animal, emisiones y gestión ambiental (Patel et al., 2023). En logística, su integración con IoT y cloud computing habilita esquemas de etiquetado inteligente que, mediante códigos QR, permiten a auditores y consumidores acceder a información completa y validada sobre el producto y el cumplimiento de la cadena de frío (Patel et al., 2023; Yang et al., 2025).

4.10.6 Inteligencia Artificial (IA) y Big Data

La incorporación de IA y Big Data en la GP representa un salto cualitativo en la capacidad de procesar y aprovechar información para la gestión productiva. Su convergencia ofrece herramientas que optimizan de manera integral el sistema ganadero, al aumentar la precisión de los diagnósticos reproductivos, reforzar la sanidad animal, anticipar riesgos productivos y facilitar la gestión estratégica (Tekin et al., 2021).

Se destacan los sistemas de genómica avanzada asistidos por IA, que emplean chips de genotipado de alta densidad y bancos genómicos para estimar el valor productivo y reproductivo en etapas tempranas, lo que acorta el intervalo generacional y eleva la precisión en los procesos de selección genética (Tekin et al., 2021). A esto se suman los ecógrafos digitales portátiles con algoritmos de reconocimiento de imágenes, que permiten detectar preñez temprana y evaluar la condición uterina con alta exactitud, lo que reduce los tiempos de diagnóstico y mejora la eficiencia reproductiva (Bernabucci et al., 2025).

Asimismo, los sistemas de análisis clínicos apoyados en IA procesan información productiva y reproductiva para identificar patrones de riesgo, optimizar la prevención y disminuir pérdidas económicas. La visión por computadora, integrada con algoritmos de deep learning, reconoce de forma automática conductas y signos clínicos a partir de cámaras instaladas en potreros o drones, lo que refuerza el control sanitario y disminuye la dependencia de la observación manual (Bernabucci et al., 2025).

La IA también se integra en sensores y dispositivos portátiles como collares con acelerómetros, cámaras térmicas o micrófonos direccionales, que detectan partos inminentes, alteraciones en la locomoción o síntomas respiratorios. Esta aplicación incrementa la capacidad de intervención temprana y reduce la mortalidad neonatal (Yu et al., 2024). De manera complementaria, los modelos predictivos que combinan IA con mediciones forrajeras y simulaciones climáticas permiten planificar la producción en función de la disponibilidad de recursos y las variaciones ambientales (Horváthné Kovács et al., 2025).

De forma complementaria, emergen desarrollos basados en IA que amplían las posibilidades de gestión ganadera. Los sistemas de identificación biométrica mediante reconocimiento facial o de morro ofrecen una alternativa innovadora a los dispositivos RFID, al posibilitar la trazabilidad individual sin necesidad de elementos físicos adicionales (Bergman et al., 2024). Asimismo, la estimación automática de peso y condición corporal a partir de cámaras 3D y algoritmos de visión artificial proporciona mediciones objetivas y continuas, que mejoran la planificación productiva y la eficiencia en el uso de recursos (Dang et al., 2023).

Además, los gemelos digitales aplicados a la ganadería integran datos de sensores en tiempo real con algoritmos predictivos de IA para construir réplicas virtuales de los rodeos, lo que permite simular escenarios de manejo, anticipar riesgos y diseñar estrategias de bienestar y productividad más robustas (Han y Lin, 2022; Zhang et al., 2025).

4.10.7 Robótica

La robótica aplicada a la GP se centra en la automatización de tareas operativas y en el manejo individualizado del rodeo. Su incorporación busca reducir la intervención humana en actividades rutinarias, aumentar la eficiencia y mejorar el bienestar animal (Berckmans, 2017).

Entre sus aplicaciones más consolidadas se encuentran los robots móviles de alimentación, que distribuyen raciones ajustadas a las necesidades de cada grupo, y los sistemas de visión artificial, que estiman peso y condición corporal a partir de cámaras tridimensionales o imágenes térmicas procesadas con algoritmos de IA (Bernabucci et al., 2025). También se emplean tranqueras electrónicas y puertas automáticas de aparte, que clasifican animales según parámetros productivos o sanitarios (Brancher et al., 2024).

En sistemas intensivos se utilizan robots de limpieza automática, que mantienen condiciones higiénicas en corrales y disminuyen la carga microbiana, así como robots ambientales equipados con sensores de gases, temperatura y humedad, que activan sistemas de ventilación o aspersores para preservar la sanidad y el confort animal (Caja et al., 2016). Otra línea emergente corresponde a los brazos robóticos colaborativos (cobots), aplicados a la manipulación de insumos, vacunación y toma de muestras, lo que incrementa la precisión de las intervenciones y reduce riesgos laborales. Asimismo, se han desarrollado sistemas robóticos de monitoreo sanitario, que combinan visión artificial y sensores para identificar cojeras, signos respiratorios o alteraciones en la condición corporal, y refuerzan el control de la salud animal en los feedlots (Bernabucci et al., 2025).

En paralelo, se han desarrollado robots de arreo terrestre y aéreo, que guían al ganado mediante estímulos auditivos o visuales. Así, reducen la necesidad de personal en campo y favorecen prácticas de manejo menos invasivas (Li et al., 2022).

4.10.8 Realidad Aumentada y Realidad Virtual

La realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) constituyen tecnologías emergentes con potencial para la capacitación, la simulación y la asistencia operativa en sistemas ganaderos.

La RV se aplica en el diseño de simuladores de entrenamiento inmersivo, que permiten a estudiantes y productores practicar técnicas de manejo, arreo y bienestar animal en entornos digitales controlados. Esta modalidad facilita el aprendizaje seguro, la repetición de prácticas sin riesgo para los animales y la evaluación de habilidades en escenarios comparables a la realidad (Tang et al., 2020). De manera complementaria, la RV también se utiliza en la simulación de escenarios de bioseguridad, lo que posibilita entrenar protocolos sanitarios y de respuesta a emergencias sin comprometer la salud animal (Bernabucci et al., 2025). Además, desarrollos en RV incorporan gemelos digitales orientados a la gestión integral, capaces de representar virtualmente la cadena ganadera completa, lo que amplía el entrenamiento hacia la toma de decisiones estratégicas (Zhang et al., 2025).

Por su parte, la RA se orienta al uso de gafas inteligentes y visores portátiles, capaces de superponer información en tiempo real sobre el entorno físico. Estas herramientas permiten a los operarios visualizar datos productivos, sanitarios o de ubicación directamente sobre los animales o sobre los lotes mientras recorren los establecimientos. De este modo, la RA agiliza la toma de decisiones, mejora la eficiencia en tareas rutinarias y reduce la dependencia de registros manuales o dispositivos externos. Además, esta tecnología se emplea como recurso de asistencia técnica, al proyectar instrucciones de mantenimiento y reparación de equipos directamente en el campo, lo que facilita la resolución de fallas sin necesidad de personal especializado (Caria et al., 2019).

4.10.9 Manufactura aditiva

La manufactura aditiva, o impresión 3D, posee en la ganadería una aplicación concreta al producir suplementos nutricionales personalizados, elaborados en función de los requerimientos fisiológicos de cada animal. Esta herramienta abre la posibilidad de diseñar

dietas ajustadas de forma individual, con el objetivo de optimizar la alimentación y mejorar la eficiencia productiva (Zhu et al., 2023).

4.11 Potencial innovador de las tecnologías digitales

4.11.1 Evaluación del potencial innovador

El análisis del potencial innovador de las tecnologías digitales aplicadas a la GP constituye un enfoque esencial para valorar su capacidad de transformar procesos productivos, mejorar la eficiencia y redefinir modelos de gestión, más allá de la mera disponibilidad de recursos tecnológicos (Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, 1999; OCDE y Eurostat, 2005).

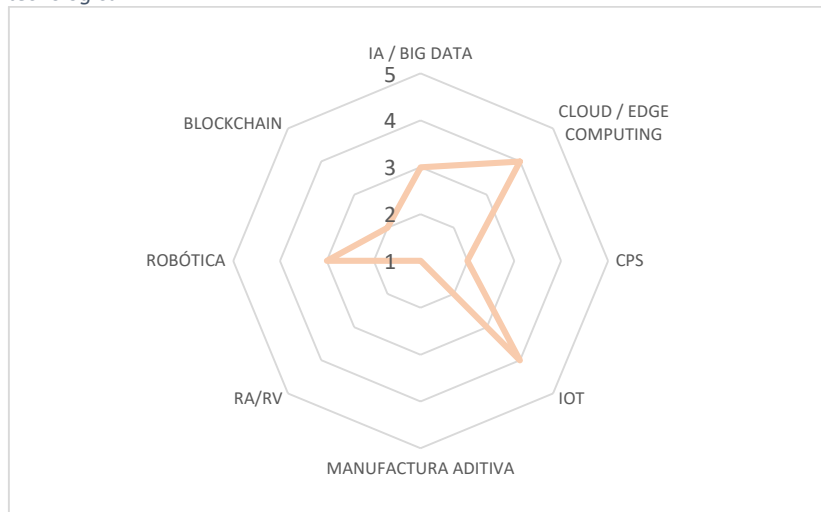
Se proponen tres dimensiones de análisis como base para la valoración del potencial innovador de las tecnologías:

- Madurez tecnológica: grado de desarrollo y consolidación internacional de la tecnología en establecimientos ganaderos extensivos e intensivos.
- Capacidad transformadora: alcance con el que la tecnología redefine procesos productivos y organizacionales tanto en establecimientos extensivos como intensivos.
- Aplicabilidad operativa: facilidad de implementación de la tecnología en sistemas ganaderos extensivos e intensivos, en función de los requerimientos de infraestructura, la disponibilidad de datos, el soporte técnico y la curva de aprendizaje asociada.

Seguidamente se presenta un diagrama de radar para la madurez tecnológica, la capacidad transformadora y la aplicabilidad operativa, con el propósito de ilustrar el perfil innovador de las tecnologías 4.0. Cada dimensión se evalúa en una escala de 1 a 5, donde los valores más altos indican mayor grado de madurez tecnológica, capacidad transformadora o aplicabilidad operativa. Esta representación permite contrastar el nivel relativo de cada tecnología y poner en evidencia sus fortalezas y limitaciones.

En cuanto a la madurez tecnológica (Ver Figura 13), se reconoce que soluciones como IoT, cloud computing y edge computing presentan un alto grado de consolidación y difusión en sistemas ganaderos, particularmente en los de tipo intensivo (Bernabucci et al., 2025). Por el contrario, tecnologías como IA, blockchain y robótica se encuentran mayormente en fases experimentales o piloto, lo que explica su menor nivel de madurez (Nyamuryekung'e et al., 2023).

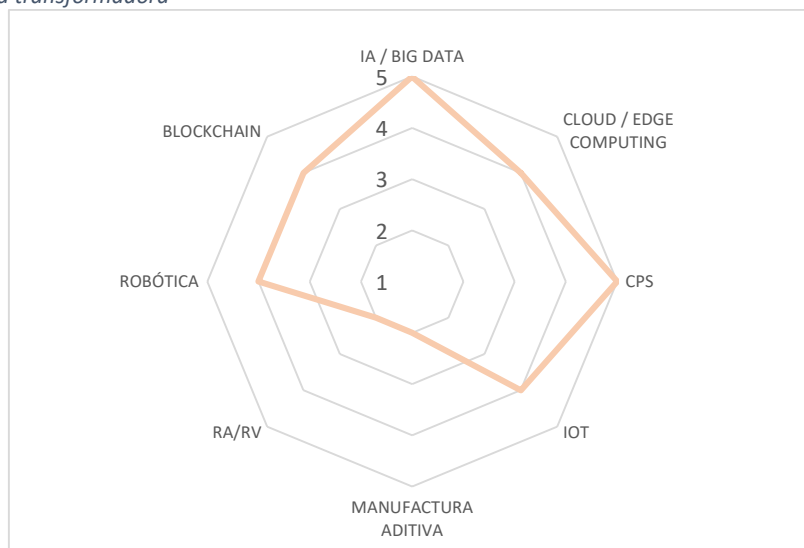
Figura 13
Radar madurez tecnológica



Nota. Elaboración propia.

La capacidad transformadora (Ver Figura 14) se sustenta en el carácter disruptivo de tecnologías como IA, Big Data y blockchain, cuyo potencial reside en la redefinición de los procesos de trazabilidad y toma de decisiones. En contraste, soluciones como IoT, cloud computing y edge computing se consideran innovaciones de tipo incremental, orientadas a optimizar la eficiencia sin modificar de manera sustancial la estructura del sistema productivo (Bernabucci et al., 2025).

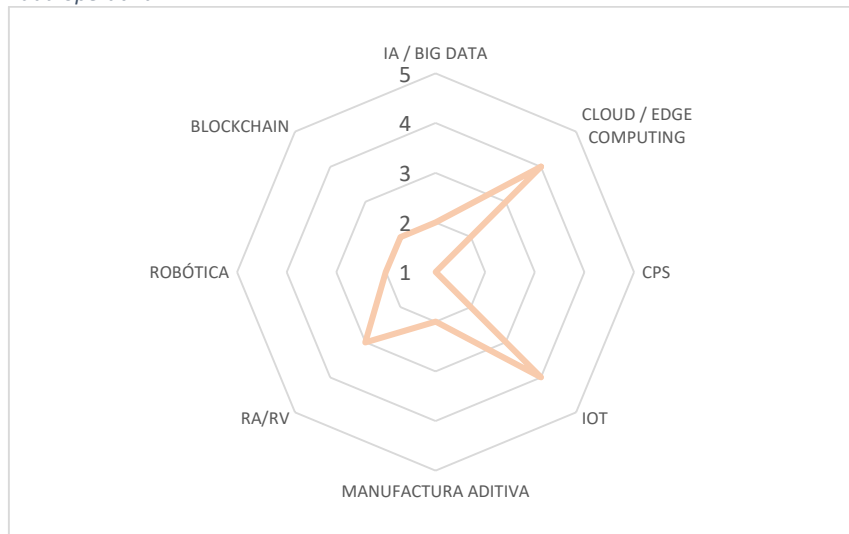
Figura 14
Radar capacidad transformadora



Nota. Elaboración propia.

Finalmente, la aplicabilidad operativa (Ver Figura 15) se encuentra condicionada por las barreras asociadas a la infraestructura, la disponibilidad de datos y el soporte técnico. Las soluciones basadas en IoT y cloud/edge computing presentan menor complejidad y una integración más ágil en establecimientos de diferentes escalas (Lachman y López, 2018). Mientras que tecnologías como IA, blockchain y robótica requieren altos volúmenes de datos, inversiones significativas y capacitación especializada, lo que limita su adopción, especialmente en sistemas extensivos (Bernabucci et al., 2025; Galli et al., 2023).

Figura 15
Radar aplicabilidad operativa



Nota. Elaboración propia.

El análisis comparativo revela un perfil innovador heterogéneo entre las distintas tecnologías digitales. Por un lado, las innovaciones incrementales, como IoT y cloud y edge computing, alcanzan altos niveles de madurez y aplicabilidad, lo que las posiciona como soluciones de incorporación rápida en los sistemas productivos. Por otro, las tecnologías disruptivas, como IA, Big Data, blockchain, robótica y CPS, demuestran un mayor potencial transformador, aunque su implementación enfrenta barreras de tipo técnico, económico y organizacional.

4.11.2 Principales tecnologías disponibles en Argentina y su grado de adopción

En las últimas dos décadas, el país inició un proceso de incorporación de tecnologías digitales que favoreció la aparición de startups nacionales dedicadas al desarrollo de soluciones electrónicas y digitales para la gestión ganadera, muchas de ellas con niveles de sofisticación comparables a estándares internacionales (Lachman y López, 2018).

Actualmente, existe una oferta diversificada de herramientas orientadas al monitoreo de procesos, la recolección y análisis de datos, la automatización parcial de tareas y la trazabilidad individual de los animales. Entre las más difundidas en el ámbito local se destacan el pesaje electrónico, la identificación animal mediante RFID y los sistemas informatizados de registro productivo. Estas tecnologías constituyen un avance respecto de los métodos tradicionales, aunque su impacto real sobre la eficiencia depende de su integración en plataformas que apoyen la toma de decisiones (Lachman y López, 2018).

La Tabla 1 presenta las principales tecnologías digitales disponibles para la ganadería bovina en Argentina, junto con su función, disponibilidad y grado de adopción observado (Capdevielle, 2024).

Tabla 1

Tecnologías de la comunicación específicas disponibles para ganadería bovina en Argentina

Tecnología	Función	Estado de tecnología en Argentina	Grado de adopción observado
Cámaras fijas	Permite monitorear visualmente un espacio fijo y acotado	Disponible	Bajo
Cámaras domo	Permite monitorear visualmente un espacio abierto amplio y enfocar espacios específicos	Disponible	Bajo
Ecógrafos	Permite establecer el estado reproductivo de las hembras	Disponible	Medio
Drones	Permiten monitorear el forraje y el rodeo.	Disponible	Muy bajo
Monitoreo de aguadas	Permite controlar estado de bebederos y tanques de agua desde el móvil	Disponible	Muy bajo
Caravanas electrónicas	Permite identificar animales a partir de un código único y vincular toda la información que se considere llevar de la vida del animal.	Disponible	Muy bajo
Balanzas digitales de peso al paso	Permite medir el peso de cada animal cuando se desplaza, ya sea en el brete o cuando se dirige a tomar agua o comer	Disponible	Muy bajo
Bastón lector de caravana	Permite identificar y almacenar información de los vacunos de forma individual	Disponible	Muy bajo
Tranquerón digital	Permite abrir y cerrar tranquera con control remoto	Disponible	No observada
Electrificador inteligente	Permite monitorear y controlar el estado de electrificación de cercos	Disponible	No observada
Velas automáticas	Permite programar apertura y cierre de parcelas.	Disponible	No observada
Collares digitales	Permite la localización de los animales vía GPS y las condiciones climáticas del ambiente	Disponible	No observada
Comederos inteligentes	Permite medir el consumo individual de alimento del ganado y realizar evolución	En desarrollo	-
Puerta de aparte	Permite separar animales de manera automática según criterios establecidos	En desarrollo	-
Alambrados virtuales	Permite cercar a los animales a partir de estímulos en la cabeza.	En desarrollo	-

Nota. Capdevielle, 2024.

A partir del análisis de la tabla anterior se evidencia que, si bien en Argentina existe disponibilidad de diversas tecnologías 4.0 aplicadas a la ganadería, su grado de adopción continúa siendo bajo. La mayoría de las herramientas se encuentran accesibles en el mercado, pero todavía no logran una incorporación sistemática en los establecimientos, lo que demuestra la brecha entre la oferta tecnológica y su aprovechamiento efectivo en los sistemas productivos.

A su vez, el grado de adopción también presenta fuertes contrastes según la escala productiva. De acuerdo con el Ministerio de Economía de la Nación (MEcon), (2021) los establecimientos de más de 500 hectáreas muestran una mayor incorporación de aplicaciones móviles y plataformas de gestión, mientras que los pequeños y medianos productores enfrentan mayores restricciones para acceder a estas herramientas. Esta disparidad refleja cómo la disponibilidad de recursos y la dimensión de la explotación condicionan la posibilidad de aprovechar plenamente los beneficios de la GP.

4.12 Reflexiones del Capítulo III

La transformación digital en la ganadería no depende exclusivamente de la disponibilidad tecnológica, sino de la capacidad del sistema para integrar datos, reorganizar procesos y redefinir modelos de gestión. Como advierten Galli et al., (2023), las herramientas digitales solo generan impacto si existen condiciones organizativas que permitan interpretar la información y aplicarla de forma efectiva.

En el caso argentino, la fragmentación en la adopción refleja una distancia entre el potencial tecnológico y su integración real. Tal como señalan Lachman y López (2018), sin esquemas de gestión que sistematicen la información, las tecnologías tienden a ser utilizadas de manera aislada, sin generar transformaciones estructurales.

Sobre esta base, el siguiente capítulo se propone identificar áreas de mejora concretas en la gestión ganadera argentina, para posteriormente explorar cómo la integración de tecnologías digitales puede contribuir a optimizar procesos, reducir ineficiencias y avanzar hacia modelos productivos más sostenibles y competitivos.

CAPÍTULO IV - Identificación de oportunidades de mejora en la gestión ganadera a partir de la integración de tecnologías 4.0

4.13 Problemáticas actuales en la gestión ganadera argentina

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. En este sentido, el análisis de problemáticas se configura como una instancia previa indispensable para comprender las causas de la baja adopción tecnológica y, a partir de ello, reconocer oportunidades de mejora basadas en la integración de tecnologías 4.0.

Seguidamente, se presentan las principales problemáticas identificadas, acompañadas de diagramas causa-efecto que permiten representar de manera estructurada los factores que las originan y explican su permanencia en la gestión ganadera.

Baja conectividad e infraestructura digital limitada

La deficiente conectividad rural constituye uno de los principales factores que condicionan la transformación digital. La carencia de infraestructura limita la cobertura de internet en amplias áreas productivas e impide el uso en tiempo real de plataformas cloud de monitoreo y sincronización de datos, lo que configura un cuello de botella para la digitalización. En distintos territorios rurales persisten dificultades estructurales vinculadas a la conectividad y a la falta de equipamiento tecnológico adecuado, lo que restringe el acceso, la visualización y el aprovechamiento de los datos generados en el sistema productivo. Estas limitaciones se combinan con deficiencias en la infraestructura vial y en los 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) sobre 311 parajes rurales relevados, más del 40% no disponía de acceso a internet, y la proporción ascendía al 80% al incluir aquellos con cobertura insuficiente. Esta limitación estructural reduce significativamente el potencial de adopción de tecnologías digitales y constituye un obstáculo transversal para la eficiencia de los sistemas ganaderos.

Asimismo, referentes de startups tecnológicas argentinas confirman este diagnóstico, al señalar que el primer desafío que enfrentaron fue la conectividad. Bernardo Jordan, cofundador y CEO de Finca, reconoció que la primera barrera al salir al mercado hace cinco años fue la conectividad, lo que evidencia que la falta de infraestructura digital constituye una limitante común para las innovaciones del sector. De manera coincidente, Eduardo Zlotnik, fundador y CEO de Nandi, señaló que la empresa debió afrontar serios problemas de conectividad, en particular vinculados a la falta de señal de telefonía móvil y a la escasa cobertura de internet en las áreas de uso agropecuario (Pabellon Rojo, 2024).

Se visualiza el diagrama causa-efecto de esta problemática en la Figura 16.

Figura 16
Diagrama causa-efecto conectividad



Nota. Elaboración propia.

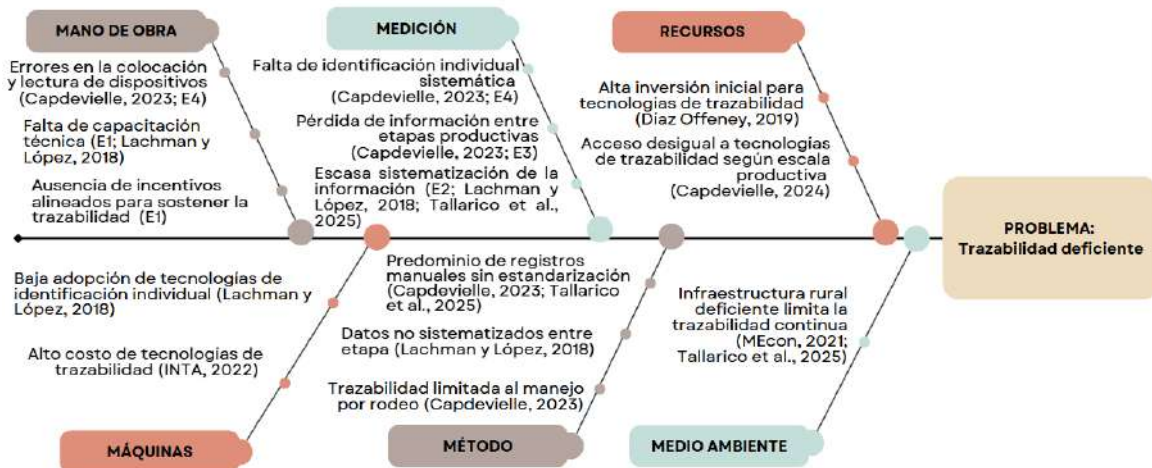
Trazabilidad deficiente

La trazabilidad constituye un requisito estratégico para garantizar la transparencia en la cadena ganadera, asegurar la inocuidad alimentaria y responder a las crecientes exigencias de los mercados internacionales. Sin embargo, en Argentina su implementación presenta limitaciones estructurales que impiden consolidar sistemas digitales robustos y confiables. Capdevielle (2023) advierte que, en numerosos establecimientos, los registros productivos, reproductivos y sanitarios 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, Lachman y López (2018) identificaron, en su encuesta nacional, la escasa sistematización de la información como uno de los principales factores que obstaculizan la adopción de tecnologías de precisión en el país. 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.

Los referentes de startups tecnológicas argentinas coinciden en este punto. Bernardo Jordán enfatizó que gran parte de los productores aún depende de planillas dispersas para organizar información productiva y sanitaria, lo que dificulta cualquier intento de digitalización integral. De manera complementaria, Juan Insua, socio fundador de Pastech, señaló que la aplicación de algoritmos predictivos exige previamente contar con información estructurada y confiable (Pabellon Rojo, 2024), mientras que un referente del sector tecnológico advirtió que la ausencia de flujos de datos ordenados constituye uno de los principales obstáculos para innovar en el sector (E2).

A partir de la Figura 17, se puede visualizar el diagrama causa-efecto de esta problemática.

Figura 17
Diagrama causa-efecto trazabilidad



Nota. Elaboración propia.

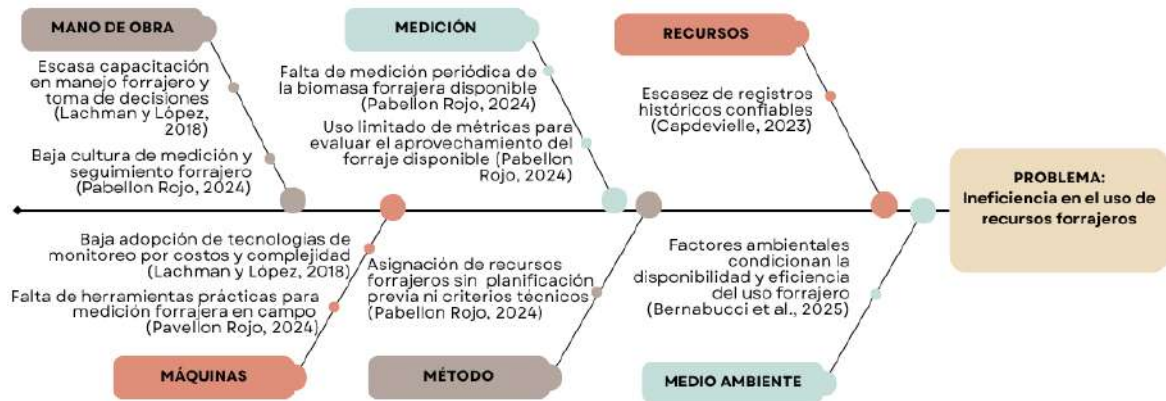
Ineficiencia en el uso de recursos forrajeros

El forraje constituye el insumo estratégico de los sistemas ganaderos de base pastoril, aunque continúa siendo uno de los recursos menos cuantificados y gestionados. La ausencia de información precisa sobre la oferta forrajera conduce a un aprovechamiento ineficiente del recurso y limita la planificación de la carga animal, la suplementación y la programación productiva. En esta línea, el 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, dado que la productividad y la estabilidad de los sistemas pastoriles dependen de su correcta evaluación. Además, el Visualizador de Datos del MAGyP (s.f.) confirma la magnitud de esta problemática al señalar que, en regiones como el NEA, NOA y la Patagonia, los productores identifican como crítico la escasa disponibilidad y el manejo ineficiente de los recursos forrajeros.

Por su parte, la startup tecnológica argentina Pastech señaló que menos del 10% de los productores conoce con exactitud la biomasa disponible en sus campos, lo que conduce a decisiones imprecisas sobre carga animal y suplementación. Asimismo, destacó que la falta de información confiable constituye una de las principales barreras para el desarrollo de la GP, debido a que impide aplicar modelos predictivos y aumenta la incertidumbre en la toma de decisiones (Pabellon Rojo, 2024)

Seguidamente, en la Figura 18, se visualiza el diagrama causa-efecto de esta problemática.

Figura 18
Diagrama causa-efecto recurso forrajero



Nota. Elaboración propia.

Desarticulación entre eslabones de la cadena de valor ganadera

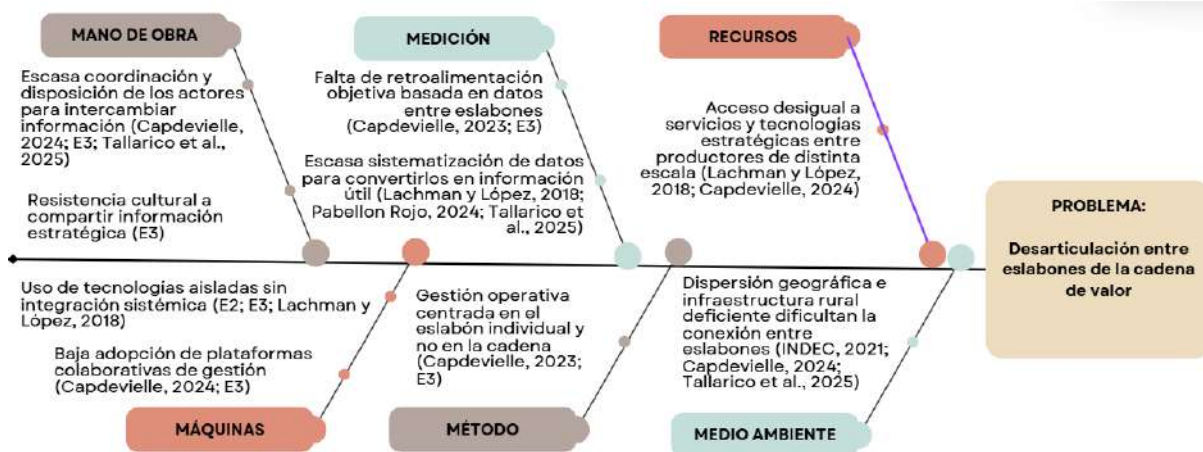
La transformación digital del sector ganadero requiere un flujo de información integrado entre los distintos eslabones de la cadena. Sin embargo, en Argentina persiste una fragmentación estructural que dificulta la implementación de tecnologías digitales y limita la conformación de sistemas de gestión basados en datos. En sistemas extensivos, la falta de coordinación entre actores reduce el impacto de las herramientas digitales e impide consolidar procesos colectivos de innovación, lo que refleja una problemática generalizada en el sector (Galli et al., 2023). Esta desarticulación también se observa en los procesos de digitalización agropecuaria, donde la información permanece dispersa entre actores y niveles territoriales, y la ausencia de plataformas interoperables limita la gobernanza y el uso estratégico de los datos (Tallarico et al., 2025).

Una docente universitaria especializada en producción animal refuerza este diagnóstico al señalar que los frigoríficos no reconocen un valor diferencial por bovinos cuya trazabilidad se extiende más allá de la obligatoria. Esta ausencia de incentivos económicos desalienta a los productores a invertir en soluciones digitales, aun cuando estas podrían mejorar la calidad del producto y fortalecer la gestión de los procesos (E1).

En esta misma línea, un especialista en soluciones digitales ganaderas coincidió en que la principal dificultad para avanzar en la digitalización radica en la escasa integración y articulación entre los eslabones de la cadena. Además, advirtió que la interrupción de la trazabilidad reduce la capacidad de todos los actores de generar valor, ya que se pierde la continuidad necesaria para sostener procesos de calidad, eficiencia y transparencia (E3).

A continuación, se presenta en la Figura 19 el diagrama causa-efecto de esta problemática.

Figura 19
Diagrama causa-efecto cadena de valor

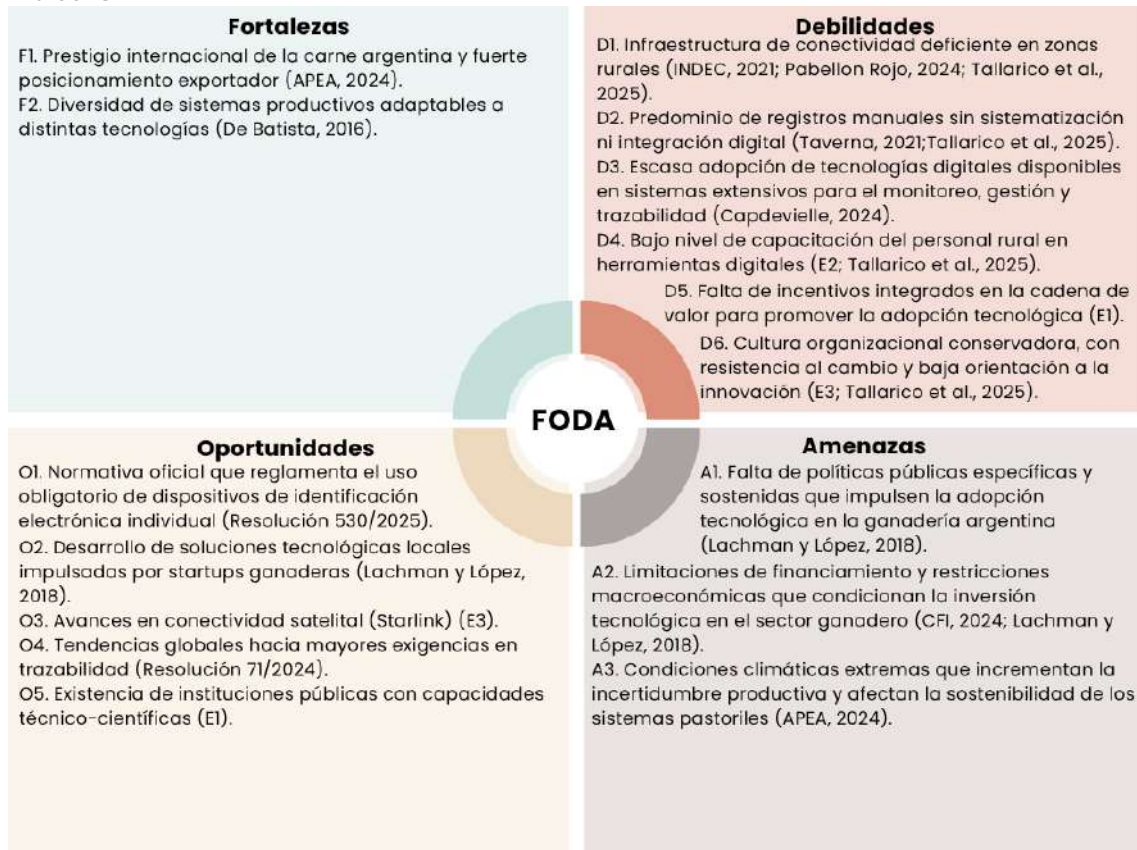


Nota. Elaboración propia.

4.14 Análisis FODA del sistema de gestión ganadera argentino

La Figura 20 presenta un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) del sistema de gestión ganadera argentino en el contexto de la transformación digital.

Figura 20
Análisis FODA



Nota. Elaboración propia.

El análisis FODA evidencia que la transformación digital de la ganadería argentina se apoya en un conjunto de oportunidades definidas, entre ellas la normativa que impulsa la identificación electrónica, el desarrollo de soluciones tecnológicas locales y la demanda internacional de

mayores estándares de trazabilidad. Estas tendencias configuran un contexto favorable para modernizar la gestión y fortalecer la competitividad del país en los mercados globales. Al mismo tiempo, se identifican debilidades estructurales como la conectividad deficiente, la escasa sistematización de datos y la resistencia organizacional al cambio, que pueden constituir los principales obstáculos para aprovechar dichas oportunidades. Así, el FODA permite interpretar que el desafío estratégico radica en la capacidad de superar las limitaciones internas que condicionan la adopción e integración efectiva de las tecnologías digitales.

4.15 Identificación de oportunidades de mejora en la gestión ganadera a partir de la integración tecnológica

La identificación de oportunidades de mejora constituye un paso intermedio entre el diagnóstico de problemáticas y la propuesta de un plan de implementación tecnológica. Este análisis, identifica cómo la integración de las tecnologías 4.0 relevadas en el Capítulo III puede contribuir a transformar las limitaciones detectadas en oportunidades estratégicas que permitan la transformación digital de la gestión ganadera.

En primer lugar, la incorporación de conectividad satelital de baja órbita, junto con redes de comunicación de bajo consumo y arquitecturas de edge computing, posibilita el desarrollo de sistemas de gestión digital en tiempo real capaces de integrar tableros de control operativos, alertas tempranas y decisiones descentralizadas. De este modo, la conectividad se convierte en una oportunidad de mejora estratégica para consolidar la digitalización de los establecimientos ganaderos.

En el plano de la trazabilidad, la oportunidad de mejora radica en integrar múltiples tecnologías para conformar un sistema digital completo, seguro y eficiente. La identificación individual mediante RFID o biometría asegura la captura de datos en origen, mientras que las plataformas cloud y edge computing permiten almacenarlos y procesarlos en tiempo real, incluso en regiones con conectividad limitada. La incorporación de blockchain y contratos inteligentes refuerza la integridad de los registros y facilita la emisión de certificaciones digitales verificables. A esto se suman herramientas de ciberseguridad, como protocolos de encriptación avanzada, detección de anomalías con IA y tecnologías PETs, que resguardan la información sensible y garantizan su disponibilidad para todos los actores de la cadena. Así, al integrar estas tecnologías, la trazabilidad se establece como un sistema integral que asegura información continua y confiable, facilita el monitoreo en tiempo real de todo el proceso productivo y sustenta la toma de decisiones a distancia. Con ello, la gestión ganadera alcanza un nivel de control y transparencia que garantiza eficiencia, confianza entre actores y competitividad en mercados internacionales cada vez más exigentes.

En cuanto al manejo de los recursos forrajeros, la oportunidad de mejora radica en sustituir estimaciones subjetivas por una gestión basada en datos de alta precisión. La integración de pasturómetros georreferenciados, drones multiespectrales y sistemas de teledetección satelital permite medir de forma objetiva la oferta forrajera en cada potrero. A su vez, el soporte de cloud y edge computing habilita tableros de control en tiempo real que vinculan el estado de los recursos con variables productivas y económicas. Asimismo, a partir de su procesamiento mediante modelos predictivos de IA y gemelos digitales, es posible transformar esos datos en escenarios concretos de decisión. De esta forma, se pueden anticipar déficits, ajustar la carga

animal y definir suplementaciones con criterios técnicos. Estas soluciones tecnológicas, al optimizar el uso del pasto y ajustar con precisión la carga ganadera, contribuyen a reducir la huella ambiental de la actividad. El crecimiento de las pasturas permite captar carbono de la atmósfera, lo que compensa en parte las emisiones de los animales y refuerza la sustentabilidad de los sistemas ganaderos de base pastoril. Así, se logra transformar la gestión forrajera en un proceso inteligente que optimiza costos, eleva la productividad y refuerza la sustentabilidad.

Por último, en la cadena de valor ganadera, la oportunidad de mejora radica en aprovechar la digitalización como herramienta para articular a los distintos eslabones y superar la fragmentación existente. Las plataformas cloud posibilitan el intercambio estandarizado de información productiva y comercial, mientras que blockchain asegura la transparencia de las transacciones y habilita contratos inteligentes que agilizan certificaciones y liquidaciones. A su vez, la incorporación de mecanismos avanzados de ciberseguridad refuerza la confiabilidad del sistema al proteger los datos sensibles y garantizar la continuidad operativa en entornos digitales.

4.16 Reflexiones del Capítulo IV

La identificación de oportunidades de mejora confirma que la digitalización de la ganadería no se limita a la incorporación de herramientas tecnológicas, sino que exige orientarlas hacia la resolución de ineficiencias concretas de gestión. Como sostienen Vial (2019) y Wongpiyabovorn et al. (2025), las tecnologías 4.0 solo despliegan su potencial cuando logran integrarse en procesos productivos coherentes articulados y sostenibles.

En el caso argentino, si bien no todos los actores de la cadena reconocen un valor diferencial por la adopción de estas herramientas, su aplicación genera beneficios internos en cada eslabón al reducir tiempos de gestión, costos administrativos y riesgos operativos.

De este modo, la conectividad, la trazabilidad, el manejo forrajero y la articulación de la cadena de valor se consolidan como ejes estratégicos para avanzar hacia sistemas más eficientes, transparentes y sostenibles. Sobre esta base, el siguiente capítulo aborda la elaboración de un plan de implementación tecnológica, con el objetivo de materializar estas oportunidades en el marco del nuevo contexto normativo.

CAPÍTULO V - Propuesta de un plan de implementación tecnológica orientado a mejorar la gestión de la ganadería de precisión en el marco del nuevo contexto normativo

El presente capítulo expone la propuesta de un plan de implementación tecnológica orientado a la transformación digital de la gestión de un establecimiento ganadero extensivo de pequeña escala. Se toma como referencia este perfil por tratarse de uno de los segmentos con mayores desafíos en materia de adopción tecnológica y, por lo tanto, un caso representativo para el diseño de una hoja de ruta.

La iniciativa se enmarca en el nuevo contexto normativo definido por las Resoluciones 71/2024 y 530/2025, que establecen la obligatoriedad progresiva de la identificación electrónica individual del ganado, una medida que alcanza a la totalidad del sector ganadero.

El plan propuesto plantea una adopción gradual y sostenible de tecnologías digitales, adaptadas a las particularidades de este tipo de establecimiento y a la dinámica de sus procesos productivos. Su desarrollo se apoya en el MOGIT, integrado por cinco elementos: Vigilar, Focalizar, Capacitarse, Implantar y Aprender, los cuales estructuran el proceso de innovación y orientan la secuencia de implementación planteada.

4.17 Diagnóstico y punto de partida

El análisis desarrollado en los capítulos anteriores evidenció limitaciones persistentes en la gestión ganadera argentina. La incorporación de tecnologías digitales se mantiene reducida, en especial en establecimientos extensivos y de menor escala, donde predominan registros manuales que restringen la trazabilidad individual, debilitan la eficiencia operativa y limitan la capacidad de planificación estratégica.

A partir de estas limitaciones, se identificaron cuatro oportunidades de mejora que incorporan tecnologías digitales: el desarrollo de la conectividad rural, el fortalecimiento de la trazabilidad, la optimización en el manejo de los recursos forrajeros y la articulación de la cadena de valor. Estas oportunidades surgen como un paso intermedio entre el diagnóstico realizado y la formulación del plan de implementación tecnológica.

El plan se orienta a 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 recría. El sistema se caracteriza por un bajo nivel de digitalización, el uso predominante de registros manuales y limitaciones de conectividad rural, condiciones que justifican la necesidad de una estrategia gradual de adopción tecnológica.

4.18 Visión y misión del plan

Visión: Consolidar al establecimiento ganadero extensivo de pequeña escala 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.

Misión: Proporcionar una guía que oriente a un establecimiento ganadero extensivo de pequeña escala en la transición digital, con el fin de superar el cumplimiento de la identificación electrónica y avanzar de manera planificada hacia la transformación digital de la gestión.

4.19 Ejes estratégicos del plan

Primer eje: Gestión eficiente y productividad. Orientado a optimizar procesos, reducir tiempos operativos, errores y cuellos de botella, y asegurar un uso racional de los recursos forrajeros y tecnológicos. Este eje busca transformar las prácticas tradicionales del establecimiento en un sistema basado en información confiable y disponible en tiempo real.

Segundo eje: Trazabilidad y transparencia. Concebidas como pilares para consolidar la confianza entre el establecimiento y los demás actores de la cadena, y garantizar el cumplimiento de estándares sanitarios y comerciales. La incorporación de registros digitales integrados y certificaciones verificables constituye el núcleo de este eje.

Tercer eje: Innovación y desarrollo de capacidades. Comprende la adopción gradual de soluciones digitales avanzadas junto con programas de capacitación que permitan al establecimiento apropiarse de estas herramientas. Este eje reconoce que la innovación tecnológica solo genera impacto cuando se combina con el desarrollo de capacidades humanas y organizacionales.

4.20 Vigilar

Con base en la vigilancia tecnológica desarrollada en el Capítulo III, se listan las tecnologías digitales identificadas para la gestión del establecimiento. En algunos casos se presentan de manera agrupada y en otros como soluciones específicas, únicamente con el fin de ordenar su clasificación (Ver Tabla 2).

Tabla 2
Tecnologías relevadas en la vigilancia tecnológica

TECNOLOGÍAS RELEVADAS			
Nº		Nº	
1	Identificación electrónica mediante RFID y caravanas electrónicas	11	Sistemas ciberfísicos (CPS)
2	Biosensores invasivos	12	Gemelos digitales
3	Redes de comunicación de baja potencia (Lora-Wan)	13	Ciberseguridad
4	Conectividad satelital de constelaciones de órbita baja	14	Cloud computing
5	Balanzas automáticas y sistemas de pesaje electrónico	15	Edge computing
6	Pasturómetros electrónicos georreferenciados	16	Blockchain
7	Drones o satélites	17	IA y Big Data
8	Pistolas vacunadoras inteligentes	18	Robótica
9	Sistemas de monitoreo de aguadas	19	Realidad Aumentada y Virtual
10	Cercado virtual	20	Manufactura aditiva

Nota. Elaboración propia.

4.21 Focalizar

En esta instancia el plan focaliza la información obtenida en la vigilancia en decisiones estratégicas de aplicación. El objetivo consiste en determinar qué tecnologías resultan más pertinentes para el establecimiento y en qué orden conviene incorporarlas, lo que evita la dispersión de esfuerzos y asegura un uso eficiente de los recursos disponibles. De acuerdo con Escorsa y Valls (2003), esta etapa requiere priorizar las tecnologías críticas en función de su impacto potencial y del dominio alcanzado sobre ellas.

Se priorizan aquellas soluciones que el establecimiento puede incorporar con la infraestructura y las capacidades actuales. Luego, se incluyen tecnologías que exigen un fortalecimiento de la base digital y una etapa intermedia de capacitación. Finalmente, se prevé la adopción de tecnologías de mayor complejidad técnica y organizacional. El resultado de este análisis constituye la base para definir los distintos horizontes de implementación, en coherencia con las capacidades del establecimiento y con los beneficios esperados sobre la gestión ganadera.

Con este propósito, a continuación se definen las tres fases de implementación que conforman el plan:

Corto plazo (0-6 meses)

En el corto plazo se propone la incorporación de tecnologías que combinan un alto impacto en la gestión con una elevada factibilidad de adopción. El eje central del plan lo constituye la implementación de caravanas electrónicas con tecnología RFID, en cumplimiento de las Resoluciones 71/2024 y 530/2025. Este paso inicial, definido como obligatorio por la normativa vigente, se plantea como la base estratégica para garantizar la trazabilidad individual de todo el rodeo y la incorporación progresiva de tecnologías complementarias.

Para asegurar la transmisión de datos esenciales en el establecimiento, el plan contempla la adopción de soluciones de conectividad. La estrategia se apoya en la instalación de antenas LoRa-WAN, que enlazan sensores de bajo consumo energético, y en la utilización de servicios de internet satelital de baja órbita en regiones sin infraestructura disponible. La combinación de antenas locales, sensores distribuidos y enlaces satelitales constituye el soporte técnico inicial.

Paralelamente, se impulsa la digitalización básica de los registros productivos, sanitarios y de movimientos de hacienda, mediante la sustitución gradual de planillas en papel por registros digitales adaptados a la escala y complejidad del establecimiento. 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 productivos y sanitarios existentes a plantillas en formato Excel, de modo que los datos vinculados a la caravana visual puedan asociarse posteriormente con la caravana electrónica correspondiente. El bastón admite tanto la carga como la descarga de información en formato Excel, lo que posibilita generar planillas con los datos obtenidos en cada sesión de lectura, como movimientos, pesos o eventos sanitarios, e incorporar desde el sistema información preexistente para emplearla durante las

lecturas en campo. De esta manera, el operario puede escanear un animal y acceder de forma inmediata a su historial productivo y sanitario actualizado.

El sistema también permite configurar alertas y alarmas asociadas a cada caravana electrónica mediante la carga de archivos Excel con las condiciones definidas por el usuario. Estas funciones amplían las capacidades del bastón como herramienta de gestión, ya que posibilitan registrar información, anticipar eventos críticos, optimizar la toma de decisiones operativas en tiempo real y reducir significativamente los tiempos de trabajo en la manga.

Mediano plazo (7 - 17 meses)

En el mediano plazo, el establecimiento se proyecta sobre la plena implementación de caravanas electrónicas en todo el rodeo y la expansión sostenida de la conectividad rural. El eje central de esta etapa es la consolidación de una base de datos integrada, destinada a reunir, organizar y estandarizar la información productiva y sanitaria generada en los distintos procesos del establecimiento. Esta instancia constituye el paso clave para disponer de información verificable y trazable que permita avanzar hacia una gestión digital basada en datos.

Una vez conformada la base de datos, se propone la evaluación y selección de plataformas cloud que mejor se adecúen a las necesidades del establecimiento. Posteriormente, se avanza con su adopción e implementación. Estas herramientas permiten centralizar y resguardar la información en tiempo real, visualizar datos mediante tableros interactivos, generar reportes automáticos y facilitar el análisis de indicadores clave. Su incorporación optimiza el acceso remoto a la información, mejora la organización de los registros y agiliza la gestión digital.

En paralelo, el plan incorpora medidas de ciberseguridad destinadas a garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información. Se recomienda la aplicación de PETs para habilitar el intercambio seguro de datos entre actores de la cadena, y preservar la protección de los registros productivos y sanitarios del establecimiento.

Asimismo, se prioriza la incorporación de soluciones IoT destinadas al monitoreo y control de variables productivas. El plan propone avanzar con la instalación de balanzas automáticas y sistemas de pesaje electrónico integrados a plataformas digitales de gestión, que registran el peso de cada animal al paso y transmiten los datos de forma automática a la base digital del establecimiento. Se recomienda su adopción para disponer de registros precisos y continuos que faciliten el seguimiento productivo y respalden decisiones basadas en información objetiva.

Largo plazo (18 - 36 meses)

En el largo plazo, se propone la incorporación de IA y Big Data con el objetivo de transformar la información generada en las fases anteriores en un sistema de gestión predictivo y prescriptivo. La integración de estas tecnologías permite analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, identificar correlaciones entre variables productivas y generar modelos que contribuyen a mejorar la precisión de la toma de decisiones. Esta etapa busca evolucionar desde un modelo basado en el registro y el monitoreo hacia uno orientado a la anticipación de escenarios y a la automatización de decisiones operativas.

En esta etapa se proyecta la incorporación de collares inteligentes con IA y sistemas GPS, orientados al seguimiento fisiológico, conductual y espacial del rodeo. Estos dispositivos registran variables como la actividad, la rumia, el descanso y la posición de cada animal, y transmiten la información a plataformas cloud.

A su vez, el plan dispone la incorporación de sensores forrajeros y pasturómetros georreferenciados como respuesta a la ineficiencia detectada en el aprovechamiento del recurso forrajero. Estas tecnologías permiten medir la disponibilidad y calidad de las pasturas, planificar la carga animal, organizar la rotación de potreros y optimizar la asignación de recursos. Para reforzar la capacidad de monitoreo integral del establecimiento, se prevé la incorporación de drones como herramienta estratégica para el control productivo y territorial. Su aplicación facilita el conteo de animales, la evaluación del estado forrajero y la inspección de las instalaciones, lo que contribuye a mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones.

Se reconoce la relevancia de la eficiencia reproductiva en los sistemas extensivos, por lo que se recomienda incorporar sistemas de genómica avanzada y ecógrafos digitales inteligentes que integren algoritmos de IA para el análisis y la interpretación de datos. Esta combinación tecnológica permite optimizar la selección genética, acortar los intervalos generacionales y aumentar la precisión en la detección reproductiva.

Por otro lado, se propone complementar la infraestructura con soluciones basadas en edge computing para asegurar la operatividad de los sistemas digitales. Esta tecnología procesa la información de forma directa en los dispositivos locales, lo que reduce la dependencia de la nube y garantiza la continuidad del funcionamiento ante eventuales interrupciones en la conexión.

Con el objetivo de definir límites dinámicos sin requerir alambrados físicos, ordenar la rotación del rodeo y optimizar el aprovechamiento de los recursos forrajeros, se contempla la implementación de cercas virtuales mediante el uso de los collares inteligentes ya instalados. Estos dispositivos envían la posición del animal en tiempo real a la plataforma de gestión, que emite señales sonoras o estímulos leves cuando se aproxima al límite virtual, lo que permite controlar los movimientos del rodeo y mejorar la eficiencia del manejo extensivo.

Por último, en materia de trazabilidad y articulación de la cadena, se propone incorporar el uso de blockchain y contratos inteligentes con el propósito de que los registros productivos y sanitarios generados en etapas previas operen dentro de una red distribuida que garantice su integridad y confiabilidad. A partir de esta base tecnológica, se prevé la emisión automática de certificaciones digitales de sanidad, calidad y sustentabilidad, verificables en tiempo real y reconocidas por organismos de control y mercados internacionales.

A continuación, la Tabla 3 sintetiza la selección de tecnologías prioritarias propuestas para cada horizonte temporal, organizadas con el fin de trazar una hoja de ruta progresiva hacia la transformación digital de la gestión ganadera.

Tabla 3

Fases de implementación tecnológica

FASES DE IMPLEMENTACIÓN TECNOLÓGICA	
CORTO PLAZO (0- 6 MESES)	Identificación electrónica mediante caravanas RFID y bastón lector; Soluciones de conectividad rural (antenas LoRa-WAN y servicios satelitales de baja órbita); Digitalización básica de registros productivos y sanitarios.
MEDIANO PLAZO (7 - 17 MESES)	Consolidación de la base digital; Plataformas cloud; Balanzas automáticas y sistemas de pesaje electrónico; Sistemas de ciberseguridad (PETs).
LARGO PLAZO (18- 36 MESES)	IA y Big Data; Collares inteligentes; Sensores forrajeros y pasturómetros georreferenciados; Drones; Sistemas de genómica avanzada y ecógrafos digitales inteligentes; Edge computing; Cercas virtuales; Blockchain y contratos digitales.

Nota. Elaboración propia.

4.22. Capacitarse

La digitalización del establecimiento requiere un proceso sistemático de construcción de capacidades humanas y organizacionales que asegure la sostenibilidad de la transformación. El plan contempla tanto la formación interna de productores y operarios como la articulación con actores externos que aportan conocimiento, soluciones tecnológicas y acompañamiento especializado.

En el plano interno, la capacitación se orienta a que quienes participan en la gestión adquieran competencias digitales que les permitan operar dispositivos de identificación electrónica, interpretar los datos generados por sensores y plataformas, y emplearlos como insumo para la toma de decisiones. Este proceso también busca integrar los saberes prácticos que garantizan el uso efectivo de las tecnologías y superar las resistencias vinculadas a la modificación de rutinas tradicionales.

En el plano externo, la estrategia se apoya en la colaboración con actores que cumplen funciones complementarias y que aportan valor diferencial:

- **Startups de tecnología agropecuaria (AgTech):** Representan aliados estratégicos clave para la incorporación de innovación tecnológica en el establecimiento, al ofrecer soluciones digitales de vanguardia. Su participación facilita el acceso a plataformas cloud de gestión, dispositivos IoT y herramientas de trazabilidad, además de proveer asistencia técnica directa y actualización constante en un entorno de rápida evolución tecnológica. La vinculación con este tipo de actores impulsa la transferencia de conocimiento aplicado, promueve la adopción ágil de tecnologías emergentes y fortalece el ecosistema de innovación.
- **INTA.** Se propone establecer una alianza estratégica con este instituto dado su rol como organismo público de referencia en investigación, desarrollo e innovación aplicada al sector ganadero. Su participación resulta clave para validar tecnologías en condiciones locales, realizar pruebas piloto, ajustar protocolos de adopción digital y transferir resultados a productores extensivos. Esta vinculación aporta respaldo técnico e institucional al plan, garantiza la coherencia de las soluciones adoptadas con la lógica de

los sistemas pastoriles, y facilita la articulación con programas nacionales de innovación y extensión tecnológica.

- Universidades y centros de investigación. Cumplen un rol estratégico como generadoras y difusoras de conocimiento científico-tecnológico aplicado a la ganadería, y actúan como motor de investigación, innovación y formación de capital humano especializado. La articulación con grupos académicos y centros de investigación posibilita el desarrollo de proyectos de experimentación y validación tecnológica en sistemas pastoriles, lo que garantiza que las soluciones adoptadas resulten técnicamente sólidas, sostenibles y adaptadas.

En cuanto al acceso a tecnologías, el plan reconoce que una parte significativa de las soluciones requeridas ya se encuentra disponible en el mercado argentino, mientras que otras deben ser importadas o provistas a través de representantes locales. Las caravanas electrónicas de identificación individual, registradas oficialmente por SENASA, cuentan con producción y provisión nacional, lo que asegura su disponibilidad y compatibilidad con el marco regulatorio vigente. Las plataformas cloud y edge de gestión son desarrolladas por AgTech argentinas, que ofrecen adaptaciones específicas para establecimientos extensivos. Asimismo, dispositivos IoT básicos, como balanzas electrónicas o collares inteligentes, también se comercializan en el país, aunque incluyen componentes importados. En contraste, tecnologías avanzadas como servicios de conectividad satelital, blockchain e IA provienen mayormente de proveedores internacionales y se incorporan mediante alianzas estratégicas o convenios de representación.

La articulación de estos actores conforma un ecosistema de apoyo que garantiza que la capacitación trascienda el manejo operativo de dispositivos y se convierta en un proceso de aprendizaje continuo. Así, el establecimiento incorpora tecnologías a través de alianzas, licencias o servicios provistos externamente, mientras consolida capacidades internas para sostenerlas en el largo plazo.

4.23. Implantar

Esta fase constituye el momento en el que la estrategia definida se transforma en un plan de acción concreto. En esta instancia, las tecnologías priorizadas se incorporan a un esquema de ejecución estructurado, que establece la organización de los procesos y la forma en que se articulan entre sí. Su finalidad es garantizar que la transformación digital en el establecimiento trascienda la formulación conceptual y se materialice en prácticas efectivas de gestión ganadera.

Seguidamente, se presenta el mapa de procesos que sintetiza la estructura general del plan en donde se integran los procesos estratégicos, operativos y de apoyo, junto con sus entradas y salidas (Ver Figura 21).

Figura 21
Mapa de procesos



Nota. Elaboración propia.

En la Figura 22, se expone el cronograma de Gantt que organiza la implementación de las tecnologías en fases de corto, mediano y largo plazo, y funciona como hoja de ruta temporal de la transformación digital propuesta. Cabe destacar que, el cronograma presentado, tiene carácter estratégico y no incluye la asignación de recursos. Asimismo, las acciones de capacitación y las alianzas estratégicas se encuentran implícitamente integradas en cada etapa del proceso, al constituir un componente transversal y sostenido del plan.

Figura 22
Cronograma de Gantt

TECNOLOGÍAS	CORTO PLAZO	MEDIANO PLAZO	LARGO PLAZO
	0-6 meses	7-17 MESES	18-36 meses
Adquisición e implementación de identificación electrónica mediante caravanas RFID y bastón lector	█		
Adquisición e implementación de antenas LoRa-WAN y/o servicios satelitales de baja órbita)	█		
Digitalización básica de los registros productivos y sanitarios	█		
Consolidación de la base digital		█	
Selección e implementación de plataformas cloud		█	
Implementación de medidas de ciberseguridad		█	
Adquisición e implementación de balanzas automáticas y sistemas de pesaje electrónico		█	
Implementación de analítica avanzada con IA y Big Data			█
Selección e implementación de collares inteligentes			█
Selección e implementación de drones			█
Selección e implementación de sensores forrajeros y pasturómetros georreferenciados			█
Selección e implementación de sistemas de genómica avanzada y ecógrafos digitales inteligentes			█
Selección e implementación de edge computing			█
Selección e implementación de cercas virtuales			█
Implementación de blockchain y certificaciones digitales			█

Nota. Elaboración propia.

Por último, esta fase también contempla la definición de indicadores que permitan evaluar con objetividad el grado de transformación digital alcanzado en la gestión del establecimiento. Estos instrumentos garantizan que los avances se midan a partir de cambios efectivos en la organización de los procesos, en la integración de la información y en la calidad de las decisiones.

La Tabla 4 reúne los indicadores propuestos, estructurados según los horizontes temporales del plan.

Tabla 4
Indicadores de gestión

HORIZONTE TEMPORAL [MESES]	INDICADOR	¿QUE MIDE?	OBJETIVO
CORTO PLAZO (0-6)	Animales identificados mediante caravanas RFID	% de animales identificados electrónicamente	Identificar al 100% del rodeo con caravanas RFID
	Nivel de conectividad rural del establecimiento	% de superficie del establecimiento con conexión estable	Alcanzar una cobertura mínima del 90% de la superficie
	Tiempo operativo en manga	Tiempo promedio por jornada de trabajo en manga	Reducir en al menos un 30% el tiempo de trabajo en manga tras la implementación de caravanas RFID y bastón lector.
MEDIANO PLAZO (7-17)	Consolidación de la base digital	% de datos productivos y sanitarios digitalizados	Digitalizar el 100% de los datos del establecimiento
	Grado de utilización de plataformas cloud	% de procesos productivos y sanitarios gestionados desde plataformas cloud	Gestionar al menos el 80% de los procesos desde el entorno cloud
	Grado de utilización de pesaje electrónico y registro automático	% de operaciones de pesaje realizadas con balanzas electrónicas	Lograr que al menos el 85% de las operaciones de pesaje se realicen con balanzas electrónicas, y por ende reducir significativamente el uso de balanzas manuales
LARGO PLAZO (18-36)	Aplicación de IA en la gestión	% de procesos apoyados en modelos predictivos	Gestionar el 80% de los procesos clave mediante IA para optimizar decisiones
	Eficiencia en el uso de recursos forrajeros	% de mejora en la relación entre disponibilidad y aprovechamiento de forraje	Incrementar en al menos un 30% la eficiencia forrajera mediante el uso de sensores y monitoreo digital de pasturas
	Aplicación de genómica en la gestión reproductiva	% de animales evaluados genéticamente dentro del rodeo	Incorporar análisis genómicos en al menos el 50% del rodeo para optimizar la selección y la eficiencia reproductiva

Nota. Elaboración propia.

4.24 Aprender

Esta última etapa del plan tiene como finalidad evaluar los resultados alcanzados, capitalizar la experiencia acumulada y consolidar el sistema de gestión. Su propósito es garantizar que la transformación digital del establecimiento se mantenga como un proceso dinámico, orientado a la mejora continua, la resiliencia y la sostenibilidad en el tiempo.

El aprendizaje comienza con la medición de los indicadores definidos, cuyo análisis permite verificar el grado de cumplimiento de los objetivos y extraer conclusiones útiles para la gestión. A partir de esta retroalimentación se sistematizan las prácticas eficaces, se reconocen las limitaciones y se formulan ajustes que fortalecen la confiabilidad del sistema implementado.

De esta manera, el ciclo se completa con un proceso de mejora continua que incorpora la experiencia adquirida y asegura la capacidad de adaptación del establecimiento en el futuro.

4.25 Reflexiones del Capítulo V

El plan de implementación tecnológica muestra que la transformación digital de la ganadería va mucho más allá de la incorporación de herramientas: implica redefinir la forma de gestionar, decidir y aprender dentro del establecimiento. En esta etapa, el MOGIT se consolida como un marco metodológico eficaz para estructurar la innovación, al guiar al establecimiento desde la vigilancia hasta el aprendizaje continuo. Como plantea la Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica (1999), los procesos de innovación solo se sostienen cuando se conciben como ciclos dinámicos capaces de aprender de la práctica y adaptarse al cambio.

En este sentido, el plan muestra que, aun partiendo de condiciones limitadas, la transformación digital tiene el potencial de generar mejoras sustantivas en eficiencia, trazabilidad y toma de decisiones, cuando se apoya en una estrategia gradual y en la construcción de capacidades internas.

Se alienta la continuidad del proceso de transformación digital al sentar las bases para la incorporación futura de tecnologías más avanzadas, como CPS y robótica, que resultan esenciales para consolidar una gestión inteligente. A su vez, se impulsa la proyección hacia una integración digital de la cadena de valor, un desafío que excede el alcance del plan pero que constituye el siguiente paso en la evolución del sistema. Avanzar en esa dirección permitirá fortalecer la articulación entre actores y transformar la digitalización del establecimiento en un proceso colectivo que potencie la competitividad, la transparencia y la sostenibilidad de toda la cadena ganadera.

5. CONCLUSIONES

La transformación digital en la ganadería argentina representa una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia, trazabilidad y gestión de los sistemas productivos. Si bien el nuevo marco normativo se limita a establecer la obligatoriedad de la identificación electrónica individual, su implementación sienta las bases para incorporar progresivamente herramientas de digitalización y gestión de datos. En este sentido, se convierte en el primer paso hacia la integración de la información en sistemas digitales de gestión.

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 y avanzar hacia un modelo de gestión más eficiente, trazable y sostenible es la incorporación e integración de tecnologías digitales.

Sobre esta base, se desarrolló la vigilancia tecnológica que permitió identificar una amplia variedad de herramientas digitales disponibles a nivel nacional e internacional. Sin embargo, la etapa de focalización evidenció que muchas de ellas mantienen una relación de dependencia entre sí, lo que implica que su adopción efectiva requiere contar previamente con una base tecnológica, organizacional y digital consolidada.

La aplicación del modelo MOGIT en el plan de implementación tecnológica permitió estructurar la transformación digital del establecimiento de pequeña escala extensivo en etapas secuenciales. El plan se diseñó con un enfoque progresivo y realista, orientado a consolidar una base digital sólida como condición previa para incorporar, en etapas posteriores, herramientas de mayor complejidad. Se priorizaron aquellas tecnologías factibles de adoptar en el contexto argentino y capaces de generar mejoras verificables en la gestión, la eficiencia operativa y la trazabilidad del establecimiento.

Los resultados obtenidos confirmaron que la transformación digital del sistema ganadero depende tanto de la disponibilidad tecnológica como de la capacidad de los establecimientos para integrar, evaluar y utilizar la información de manera estratégica. Este proceso se sustenta en la articulación entre conocimiento, tecnología y gestión, y exige el desarrollo de competencias organizacionales orientadas al aprendizaje continuo y a la adaptación frente a los cambios del entorno productivo.

De esta manera, la transformación digital se consolida como el eje estructural para el desarrollo competitivo y sostenible de la ganadería argentina. Alcanzar este cambio implica establecer una cultura de gestión sustentada en datos, innovación y mejora continua, capaz de proyectar al sector hacia un nuevo paradigma productivo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- APEA. (2024). Informe Ganadero 2024. Asociación de Productores Exportadores de Argentina. <https://www.apea.org.ar/informe-ganadero-2024/>
- Arroquy, J. (2023, agosto 28). *Caravanas electrónicas: eficiencia y trazabilidad en la ganadería bovina*. Ganadería y Negocios. Recuperado el 16 de julio de 2025. <https://ganaderiaynegocios.com/caravanas-electronicas-eficiencia-y-trazabilidad-en-la-ganaderia-bovina/>
- Balaji, S. R. A., Rao, S. P., y Prakash, R. (2024). *Cybersecurity challenges and solutions in IoT-based precision farming systems*. University of North Dakota – UND Scholarly Commons. <https://commons.und.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=cs-pp>
- Basco, A., Iooty, M., Rodríguez, D., y Ruprah, I. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0001229>
- BBVA. (2025, 22 de marzo). *Ganadería intensiva y extensiva: ¿Cuáles son sus diferencias?* <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/ganaderia-intensiva-y-extensiva-cuales-son-sus-diferencias/>
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Bergman, N., Yitzhaky, Y., Halachmi, I., y Edan, Y. (2024). *Biometric identification of dairy cows via real-time facial recognition*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/377517621_Biometric_identification_of_dairy_cows_via_real-time_facial_recognition
- 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. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2480821>
- Brancher, M. L., Herrera Conegliano, O. A., y Quiroga, R. E. (2024). *Aportes tecnológicos para la ganadería de precisión*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/18601>
- Caja, G., Castro-Costa, A., y Knight, C. H. (2016). *Engineering to support wellbeing of dairy animals*. *Journal of Dairy Research*. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>
- Caria, M., Sarasua, J. R., Rodriguez, M., y Tola, J. (2019). *Exploring smart glasses for augmented reality: A valuable and integrative tool in precision livestock farming*. *Animals*, 9(11), 903. <https://doi.org/10.3390/ani9110903>
- Capdevielle, B. (2023). El trabajo en la ganadería vacuna, provincia de Buenos Aires. *IMPACT.AR Desafío* 58 (1), 1-29. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.19066/pr.19066.pdf
- 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). https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.19050/pr.19050.pdf

- CFI. (2024). Informe carne bovina – Región Centro.
<https://cfi.org.ar/assets/docs/CarnebovinalInformeREGIONCENTRO.pdf>
- Cifuentes, J. (2021). *La gestión de la producción*. Universidad San Marcos (USAM).
<https://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/11506/1945/LEC%20PROD%20001%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Club Ganadero. (2023). *El papel de la tecnología en la ganadería intensiva*. Recuperado el 16 de julio de 2025, de <https://www.clubganadero.com/ganaderia-intensiva/>
- Dang, C. G., Lee, S. S., Alam, M., Lee, S. M., Park, M. N., Seong, H.-S., Baek, M. K., Pham, V. T., Lee, J. G., y Han, S. (2023). *A Korean cattle weight prediction approach using 3D segmentation-based feature extraction and regression machine learning from incomplete 3D shapes acquired from real farm environments*.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13122266>
- De Batista, M. (2016). *Gobernanza y coordinación en la cadena de la carne bovina argentina: focalización en el Sudoeste Bonaerense* (Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Sur). Repositorio Digital UNS.
<https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/3397/Marianela%20De%20Batista.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm>
- Delwar, T. S., Mukhopadhyay, S., Kumar, A., Singh, M., Lee, Y.-w., Ryu, J.-Y., y Hosen, A. S. M. S. (2025). *Real-time farm surveillance using IoT and YOLOv8 for animal intrusion detection*. *Future Internet*. <https://www.mdpi.com/1999-5903/17/2/70>
- Diamela, A. (2023). *Sistemas de identificación animal en Argentina*. Universidad Nacional del Sur.
<https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/6394/ANTUNES%20Diamela.pdf>
- Díaz Offeney, M. (2019). *La ganadería de precisión y la trazabilidad son nuestro futuro* [Entrevista]. Santamarina e Hijos. Recuperado el día 2 de septiembre de 2025.
<https://www.santamarina.com.ar/entrevista/1550>
- Dineva, K., y Atanasova, T. (2022). *Cloud data-driven intelligent monitoring system for interactive smart farming*. *Sensors*, 22(17), 6566. <https://doi.org/10.3390/s22176566>
- Escorsa, P., y Valls, J. (2003). *Tecnología e innovación en la empresa*. Editorial UPC.
https://www.researchgate.net/publication/260210824_Tecnologia_e_innovacion_en_la_empresa
- FAO. (2016). *La trazabilidad*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/items/ce5d9fab-376c-46ad-89a5-9149d3cf3133>
- Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica. (1999). Informe COTEC 1999 sobre tecnología e innovación en España. Madrid: Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica.
- Fundación Entretantos. (s.f.). *Ganadería extensiva y cambio climático*. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de <https://www.entretantos.org/project/ganaderia-extensiva-y-cambio-climatico/>
- Freije, I., & Rodríguez Vidarte, J. M. (1988). *La planificación tecnológica: una herramienta para la dirección estratégica de la empresa*. Bilbao: Universidad de Deusto.

- 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.
https://www.researchgate.net/publication/376645912_Ganaderia_de_precision_en_sistemas_de_base_pastoril
- Garro, R. J., y Tallarico, G. A. (2022). *Ganadería de precisión: innovaciones tecnológicas que agregan valor a la ganadería*. IDIA. Ediciones INTA.
<https://hdl.handle.net/20.500.12123/12167>
- Gautreau, P. (2024). *Sistemas de trazabilidad de la carne bovina en Argentina, Paraguay y Uruguay: Retos y oportunidades frente al reglamento europeo de productos libres de deforestación*. Al-Invest Verde. <https://alinvest-verde.eu/wp-content/uploads/2024/06/Sistemas-de-trazabilidad-carne-bovina.pdf>
- Grottola, L. (2024). *Transformación digital, paradigmas administrativos y competencias laborales: Una breve discusión referida al empleo público*. Instituto Nacional de la Administración Pública (INAP). [Transformación digital, paradigmas administrativos y competencias laborales. Una breve discusión referida al empleo público](https://www.inap.gov.ar/transformacion-digital-paradigmas-administrativos-y-competencias-laborales)
- Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Calidad total y productividad* (3.ª ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill. <https://plataformaiestphuando.com/wp-content/uploads/2023/05/Libro-Calidad-Total-y-Productividad-H.-Gutierrez-3ed.pdf>
- Han, X., y Lin, Z. (2022). *AI-based digital twin model for cattle caring*. ArXiv
<https://arxiv.org/abs/2205.04034>
- He, W., Xu, G., y Zhang, Y. (2024). *Edge computing-oriented smart agricultural supply chain: Architecture, applications, and challenges*. *Journal of Cloud Computing*
<https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-024-00626-8>
- Hernández Martínez, D. (2020). *Industria 4.0*. Universidad Tecnológica.
- Hernández Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Horváthné Kovács, B., Pajor, F., y Ózsvári, L. (2025). *Digital livestock farming in climate-smart agriculture*. *Discover Sustainability*, 6(1), 1866. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01866-7>
- Iglesias, D. H. (2002). *Cadenas de valor como estrategia: Las cadenas de valor en el sector agroalimentario*. Estación Experimental Agropecuaria Anguil. INTA.
<https://www.eumed.net/ce/dhi-cadenas.pdf>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2020). *Estimación de la disponibilidad forrajera en sistemas pastoriles*. INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/estimacion-de-la-disponibilidad-forrajera-en-sistemas-pastoriles>
- INTA. (2022). *Plan Estratégico Institucional 2021-2026*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/plan-estrategico-institucional-2021-2026>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018: Resultados definitivos*.
https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf

- International Organization for Standardization (ISO). (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements*. Geneva: ISO.
<https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/20/62085.html>
- Ishikawa, K. (1991). *¿Qué es el control total de calidad? La modalidad japonesa*. Bogotá: Norma.
- 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*.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2023.3274934>
- Junta de Castilla y León. (s.f.). *Identificación animal*. Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Recuperado el 30 de julio de 2025, de
<https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/es/ganaderia/identificacion-animal.html>
- Kerzner, H. (2009). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (10th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU%20MANAJEMEN%20PROYEK/project-management-harold-kerzner1.pdf>
- 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.
<https://ojs.economicas.uba.ar/DT-IIEP/article/view/2619/3371>
- 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. <https://www.mdpi.com/2504-446X/6/2/29>
- Miceli, M. (2023). *Cadena agroindustrial de la ganadería bovina* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista]. Repositorio Institucional Abierto (RIA-UTN). <https://ria.utn.edu.ar/server/api/core/bitstreams/cdd94fc2-1080-4218-9462-e75d04d67d1f/content>
- 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/>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2024a). *Caracterización nacional por sistemas de producción 2023*.
https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes/_archivos/000003=Caracterizaci%C3%B3n%20y%20movimientos%20de%20hacienda/000013=2023/000000_Caracterizaci%C3%B3n%20Provincial%202023.pdf
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2024b). *Caracterización provincial de existencias y movimientos de hacienda bovina 2023*.
https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes
- Ministerio de Economía de la Nación (MEcon). (2021). *Ficha sectorial: Servicios de conectividad satelital*. Dirección Nacional de Estudios Regionales y de Cadenas de Valor.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ficha_sectorial_servicios_conectividad_satelital.pdf
- Neethirajan, S. (2025). *Safeguarding digital livestock farming: A comprehensive cybersecurity roadmap for the dairy and poultry industries*. *Frontiers in Big Data*, 8, 1556157.
<https://doi.org/10.3389/fdata.2025.1556157>

- 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*. <https://doi.org/10.1017/S175173111900199X>
- Nyamuryekung'e, S., Duff, G. C., Utsumi, S., Estell, R. E., McIntosh, M. M., Funk, M., Cox, A., Cao, H., Spiegel, S., Perea, A., y Cibils, A. F. (2023). *Real-time monitoring of grazing cattle using LoRa-WAN sensors to improve precision in detecting animal welfare implications via daily distance walked metrics*. <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/16/2641>
- OCDE y Eurostat. (2005). *Manual de Oslo: Directrices para la recogida e interpretación de datos sobre innovación* (3.ª ed.). París: OECD Publishing. <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001708.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *La trazabilidad. Una herramienta de gestión para las empresas y los gobiernos*. Roma, Italia. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/21f0854d-b3c1-4778-8985-477c48fe0293/content>
- Organización Internacional de Normalización. (2021). *ISO 8373:2021 Robótica — Vocabulario*. Ginebra: ISO. <https://www.iso.org/standard/75539.html>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2024). *Criterios medibles de bienestar del ganado vacuno de carne*. En *Código Sanitario para los Animales Terrestres*. París. https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_beef_cattle.pdf
- Pabellon Rojo. [Expo rural]. (2024, 18 de julio). *Propuestas de innovación AnimalTech* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=p2gFGKdQJXs>
- Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., y Teppola, S. (2017). *Tackling the digitalization challenge: How to benefit from digitalization in practice*. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), 63–77. <https://doi.org/10.12821/ijispm050104>
- Patel, A. S., Brahmbhatt, M. N., Bariya, A. R., Nayak, J. B., y Singh, V. K. (2023). *Blockchain technology in food safety and traceability concern to livestock products*. *Heliyon*, 9, e16526. https://www.researchgate.net/publication/370942272_Blockchain_technology_in_food_safety_and_traceability_concern_to_livestock_products
- Resolución 103 de 2006 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria]. *Créase el Sistema Nacional de Identificación del Ganado Bovino*. 3 de marzo de 2006. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-103-2006-114394>
- Resolución 754 de 2006 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria]. *Identificación individual obligatoria de terneros*. 30 de octubre de 2006. Boletín Oficial de la República Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-754-2006-121663>
- Resolución 356 de 2008 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria]. *El tránsito o movimientos de mercancías debe efectuarse al amparo documental en SGS o SIGSA*. 17 de octubre de 2008. Boletín Oficial de la República Argentina.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-356-2008-146167>

Resolución General 3649 de 2014 [Administración Federal de Ingresos Públicos]. *Sistema Fiscal de Trazabilidad Animal – Dispositivo electrónico para la identificación del ganado* (SIFTA). 11 de julio de 2014. Boletín Oficial de la República Argentina.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-3649-2014-232071>

Resolución 257 de 2017 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria]. *Modificación de los artículos 4°, 8°, 11 y Anexo I de la Resolución 754/2006 (identificación individual de bovinos, bubalinos y cérvidos)*. 21 de abril de 2017. Boletín Oficial de la República Argentina.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-257-2017-274630>

Resolución 1698 de 2019 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria]. *Sistema Nacional de Identificación Electrónica de Animales*. 9 de diciembre de 2019. Boletín Oficial de la República Argentina.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1698-2019-333206/texto>

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.

<https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primer/315665>

Resolución 530 de 2025 [Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria]. *Sistema Nacional de Identificación Electrónica de Animales: mantenimiento del sistema y derogación de normas anteriores*. 18 de julio de 2025. Boletín Oficial de la República Argentina.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-530-2025-415359>

Rozo-García, F. (2020). *Revisión de las tecnologías presentes en la Industria 4.0*. Revista UIS Ingenierías. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>

Sánchez, P. J., Dávila, J., y Castillo, D. (2018). *Industria 4.0 y tendencias en la Ingeniería Industrial*. XI Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias. Universidad Militar Nueva Granada.

<https://www.researchgate.net/publication/331517060>

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (2021). *Sanidad animal en bovinos y bubalinos*. Gobierno de la República Argentina.

<https://www.argentina.gob.ar/senasa/programas-sanitarios/cadenaanimal/bovinos-y-bubalinos/bovinos-y-bubalinos-produccion-primaria/sanidad-animal>

Serra, R., y Kastika, E. (2004). *Reestructurando empresas: Las nuevas estructuras de redes para diseñar las organizaciones del próximo siglo*. Grupo Editorial Norma.

Sorri, K., Hyrynsalmi, S., y Mäntymäki, M. (2022). *Revisiting IoT definitions: A framework towards a comprehensive definition*. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121689. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121623>

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* <https://doi.org/10.1186/s42862-020-00007-3>

- Tallarico, G., Fieconi, 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.
<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/23435>
- Taverna, M. (2021). *La transformación digital en la ganadería argentina: perspectivas y desafíos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado el día 27 de julio de 2025. <https://inta.gob.ar/documento/transformacion-digital-ganaderia-2021>
- TechTarget. (2021). *Edge computing*. SearchDataCenter. [What Is Edge Computing? Everything You Need to Know](https://www.techtarget.com/searchdatacenter/what-is-edge-computing/)
- Tekin, S., Akyüz, A. Z., y Şekerli, Y. E. (2021). *Monitoring animal welfare and growth with artificial intelligence and digital sensors in feedlot systems*. *Computers and Electronics in Agriculture*
- Terence, S., Immaculate, J., Raj, A., y Nadarajan, J. (2024). *Systematic review on Internet of Things in smart livestock management systems*. *Future Internet*.
<https://doi.org/10.3390/su16104073>
- Vial, G. (2019). *Understanding digital transformation: A review and research agenda*. *Journal of Strategic Information Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Villarroel, D., Scaramuzza, F., y Vélez, J. P. (2020). *Ganadería de precisión*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Manfredi.
https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/18902/INTA_CR%20Cordoba_EEA%20Manfredi_Villarroel%20Ganader%C3%ADa_de_precisi%C3%B3n.pdf
- 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/>
- Wecobots. (2019). *Guía práctica de robótica colaborativa*. <https://wecobots.com/wp-content/uploads/2019/12/Guia-Practica-1.pdf>
- Wilson, J. M. (2003). *Gantt charts: A centenary appreciation*. *European Journal of Operational Research*
- Wongpiyabovorn, O. (2025). *Precision livestock farming technologies in beef cattle production: Current and future*. *Choices Magazine*. University of Minnesota, Agricultural and Applied Economics Association. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.358371>
- 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*.
<https://doi.org/10.3390/fi17010040>
- Yu, M., Chen, Y., Zhang, Z., y Li, X. (2024). *Design of an intelligent wearable device for real-time cattle health monitoring*. *Frontiers in Robotics and AI*
<https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1441960>
- Zambrano, R. (2015). *La ganadería bovina*. Asamblea Nacional de Ecuador.
<https://www.asambleanacional.gob.ec/es/contenido/la-ganaderia-bovina-0>
- Zhang, S., Li, Y., y Wang, J. (2025). *A comprehensive review of digital twins technology in agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture15090903>
- Zhu, W., Chen, C., Li, H., y Liu, Z. (2023). *Three-dimensional printing of foods: A critical review*. *Foods*, 12(17), 3287. <https://doi.org/10.3390/foods12173287>

7. ANEXO

Seguidamente, en la Tabla I. 1 se presenta un resumen de las entrevistas realizadas a referentes vinculados con la ganadería argentina. Se detallan sus perfiles, una síntesis de los principales aportes, y los términos claves, los cuales significativos para el análisis y la construcción del diagnóstico.

Tabla I. 1
Entrevistas

Entrevista	Fecha	Referente	Síntesis	Términos clave
E1	14/7/2025	Profesional del ámbito académico, con formación de posgrado en producción animal y trayectoria docente-investigadora en genética zootécnica, sistemas de producción animal y sustentabilidad de sistemas integrados agrícola-ganaderos.	Entrevista virtual. Expuso su visión sobre la situación actual de la ganadería. Subrayó que los frigoríficos no pagan más por animales con trazabilidad superior a la obligatoria, lo que genera falta de incentivos y desalienta a los productores a invertir en soluciones digitales. También señaló la ausencia de incentivos alineados para sostener la trazabilidad, remarcó la desarticulación entre los eslabones de la cadena e indicó el aporte de instituciones como INTA, universidades y SENASA, que avanza en investigaciones y prototipos para la digitalización del sector.	Falta de incentivos. Desarticulación de la cadena de valor. Aporte institucional en I+D.
E2	17/7/2025	Directivo de una startup tecnológica argentina especializada en trazabilidad sanitaria y gestión ganadera, con formación en administración de empresas y experiencia en el desarrollo de soluciones digitales para el sector.	Entrevista presencial realizada en la Expo Rural. Señaló que la escasa sistematización de la información constituye uno de los principales obstáculos para innovar en el sector, ya que impide ordenar los datos generados por las distintas herramientas digitales. Explicó que la mayor complicación en la adopción tecnológica no está en el equipamiento, sino en la falta de capacitación digital del personal rural, tanto productores como peones, que son quienes deben utilizar estas soluciones en la práctica. También destacó la insuficiencia de recursos de infraestructura y servicios de conectividad	Escasa sistematización de la información. Falta de capacitación digital en personal rural. Insuficiencia de conectividad rural.

			en zonas rurales, donde la ubicación geográfica condiciona la cobertura y limita el funcionamiento de las tecnologías basadas en red.	
E3	17/7/2025	Ingeniero Industrial y directivo de una empresa Agtech dedicada a soluciones en la nube para la gestión de cría y cabaña bovina en Latinoamérica, con experiencia en gestión y planificación de la producción.	Entrevista presencial realizada en la Expo Rural. Señaló que una de las principales barreras para avanzar en la digitalización radica en la falta de integración entre los eslabones de la cadena. Advirtió que, cuando la trazabilidad se interrumpe, todos los actores pierden capacidad de generar valor, ya que se debilita la continuidad necesaria para sostener procesos de calidad y transparencia. Indicó también que otra barrera relevante es de tipo cultural, en donde más que un problema generacional se trata de la resistencia de muchos establecimientos a modificar rutinas y formas tradicionales de trabajo. Finalmente, destacó que la conectividad rural constituye otra barrera crítica, aunque reconoció que avances como el servicio satelital de Starlink comienzan a modificar las condiciones de acceso.	Falta de integración en la cadena. Barreras culturales. Baja conectividad rural. Conectividad satelital (Starlink).
E4	23/7/2025	Profesional veterinario a cargo de la sanidad animal y la gestión sanitaria en un establecimiento ganadero privado.	Entrevista presencial en establecimiento ganadero. Señaló que la falta de planificación tecnológica dificulta la incorporación ordenada de innovaciones y retrasa los procesos de modernización. Indicó que los recursos financieros disponibles resultan insuficientes para realizar inversiones en conectividad, lo que condiciona la adopción de soluciones digitales. También advirtió sobre errores frecuentes en la colocación y lectura de dispositivos de identificación y subrayó la ausencia de una identificación individual sistemática, aspecto que debilita la trazabilidad y la confiabilidad de los registros.	Falta de planificación tecnológica e identificación individual sistemática. Recursos financieros limitados. Errores al colocar e identificar caravanas.

Nota. Elaboración propia.