

## Exploración de innovaciones en sistemas de producción de carne con modelos de simulación: experiencia interdisciplinaria y oportunidades de aplicación en el paradigma de internet de las cosas

Claudio F. Machado<sup>1-5</sup>; Mauricio Arroqui<sup>2-3</sup>; Pablo Mangudo<sup>2</sup>; Juan Rodríguez Alvarez<sup>3</sup>; Cristian Mateos<sup>2-3-4</sup>; Alejandro Zunino<sup>2-3-4</sup>.

1 CIVETAN (Facultad de Ciencias Veterinarias, UNCPBA Argentina, CICPBA, CONICET)

2 Facultad de Ciencias Exactas - UNICEN. Tandil, Buenos Aires, Argentina

3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

4 ISISTAN Research Institute - UNICEN. Tandil, Buenos Aires, Argentina

5 Modasur (Red interinstitucional de modelación agropecuaria Buenos Aires Sur).

**Resumen.** A partir de un modelo bioeconómico de empresas de producción de carne finalizado en 2004, se avanzó con trabajo interdisciplinario e interinstitucional para convertirlo a un sistema web (Simugan). El modelo dinámico permite simular desde días a años y explorar manejos alternativos de empresas agroganaderas, reportando resultados productivos, económicos y de gases de efecto invernadero. Se resumen diferentes mejoras tecnológicas realizadas durante el proceso para un mejor rendimiento. Adicionalmente se describen oportunidades potenciales de aplicaciones y mejoras en el marco del paradigma de internet de las cosas.

**Palabras clave:** Simulación, agropecuaria, ganadería de precisión, TICs

### 1 Introducción

La incorporación de modelación matemática como herramienta complementaria para la investigación científica de sistemas agropecuarios a nivel internacional tiene antecedentes que se remiten a la década del 50, siendo el mayor énfasis en la representación de cultivos [1]. En la ganadería se la ha incorporado posteriormente, presentando alguna dificultad complementaria ya que es una actividad con mayor presencia de interacciones entre variables, manejo y efectos estacionales e interanuales, lo que implica mayor complejidad para su representación [2], [3].

La importancia para la economía nacional de la cadena de producción de carne vacuna resulta evidente al considerar un stock y una faena anual de 54.2 y de 13,4 millones de cabezas, respectivamente [4]. De las 261,4 mil

toneladas de exportación anuales de carne durante 2018 (6to exportador mundial), se proyectan para el 2019 alcanzar valores 500 mil toneladas [5]. En las últimas décadas se ha producido una cesión creciente de superficie ganaderas para la producción de cultivos agrícolas, principalmente de soja [6]. Esta competencia por los mejores suelos, ha generado una gran heterogeneidad de sistemas ganaderos, que incluyen los sistemas intensivos de engorde a corral [7]. Esta diversidad de sistemas, resulta muy difícil operativamente y en costos de ser representada mediante investigación experimental tradicional, ya sea en parcelas, módulos o seguimiento de casos.

Existen diversos antecedentes nacionales del uso de simulación bioeconómica orientada a la investigación sistemas de producción de carne [8]–[13]. En general, estos trabajos están basados en desarrollos diseñados e implementados directamente por profesionales agropecuarios en planillas electrónicas, modelos icónicos dinámicos como Stella© o Extend© o en algún caso en Java. Estos estudios han permitido explorar el impacto potencial de diferentes sistemas productivos y diversas tecnologías aplicadas en los mismos así como también la identificación de los déficits de información experimental para asistir al proceso de toma de decisión.

Además de la heterogeneidad y dinamismo de los sistemas agropecuarios, otras condiciones adicionales de la actualidad imponen nuevos desafíos para la ciencia agropecuaria y hacia las herramientas de simulación que se dispone. Por un lado, el fenómeno denominado “cambio climático” que es causado por el calentamiento global por la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI), que ocasiona una mayor frecuencia de eventos climáticos extremos que requieren definir estrategias de adaptación de los sistemas productivos [14]. Por otro lado, la producción bovina está señalada como un gran contribuyente a los GEI, por lo que también es imperativo investigar e identificar manejos sostenibles del ganado que mitiguen esos gases [15], [16]. Como es imposible controlar experimentalmente todas las variables involucradas, la simulación se ha consolidado internacionalmente como una herramienta indispensable para investigar este tipo de problemas [17], [18].

A partir de un modelo desarrollado originalmente en Extend© [11] y con un progresivo trabajo que incluye la formación interdisciplinaria de RRHH, el mismo fue convertido a un sistema web [19] y secuencialmente mejorado para un mejor rendimiento [20,23]. Por lo tanto, en el presente trabajo se resume ese recorrido, enfatizando en aspectos vinculados directamente a TICs a partir de los trabajos publicados oportunamente con la incorporación de otras referencias pertinentes. El trabajo está organizado en tres secciones

adicionales: La sección 2 se orienta a describir y analizar globalmente esta experiencia interdisciplinaria local. En la sección 3, se describe oportunidades futuras de aplicaciones y mejoras en el marco del nuevo paradigma de “internet de las cosas” (IOT, en inglés) [24] y de la ganadería de precisión [25], [26]. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones del trabajo.

## **2 Desarrollo, mejoras y usos de un simulador Web de empresas agroganaderas (“Simugan”)**

La selección de los diferentes modelos dinámicos que componen el simulador Simugan (Ej. Producción forrajera, consumo de alimento, respuesta productiva y reproductiva de los animales para generar resultados productivos y económicos a nivel empresa), fueron seleccionados previamente en colaboración con expertos de Nueva Zelanda [11], mediante su implementación en un lenguaje de 4ta generación denominado Extend© [27].

El inicio de la experiencia interdisciplinaria local a los fines de migrar el simulador a una versión Web mediante la aplicación de metodologías actualizadas, se inició en 2003 con un método en cascada a cargo de 3 desarrolladores dirigidos por un programador senior de la Facultad de Ciencias Exactas (UNCPBA). Esta etapa tuvo numerosas dificultades e ineficiencias, debido a recurrentes ajustes a la captura inicial de requerimientos. Por esta razón, fue necesario realizar un análisis de la situación y evaluar posibles procesos de desarrollo en busca de soluciones para el proyecto en crisis. En este escenario, las metodologías ágiles [28] que incluyen un proceso de desarrollo cíclico e iterativo, surgieron como una posible respuesta para el desarrollo, aportando gran flexibilidad y simpleza sin renunciar a la calidad de los productos. En particular se utilizó el método ágil Crystal Clear (CC) orientado a grupos pequeños de desarrollo [29], que incluyó en el equipo al sponsor y usuario experto. La metodología CC se basa en un conjunto de propiedades y técnicas que enfatizan la entrega frecuente de software, comunicación cercana y mejora continua, integradas en una forma de trabajo conformando una zona de seguridad (Fig. 1), como puntos clave para el éxito del proyecto, como resultó de su aplicación a simulador planificado (Simugan, Simulador Ganadero). Un mayor detalle metodológico de la experiencia está por fuera de los objetivos del presente documento, ya que los mismos están disponibles en trabajos asociados [30], [31].

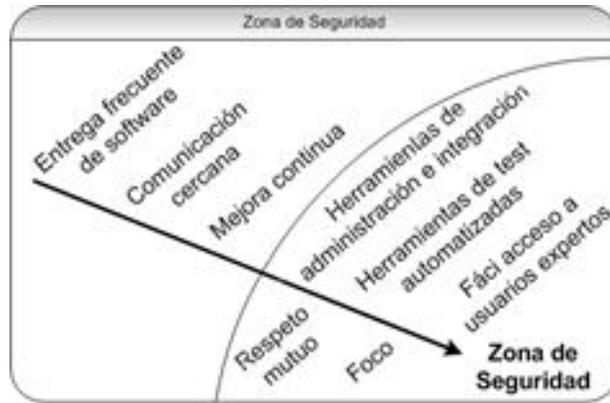


Fig. 1. Zona de seguridad del proyecto [30]

Simugan fue programado en Java con una estrategia de programación orientada a objetos. En la Fig. 2 se muestra la arquitectura, que incluye una versión desktop para análisis de multi escenarios, actualmente en proceso de transformación a versión Web.

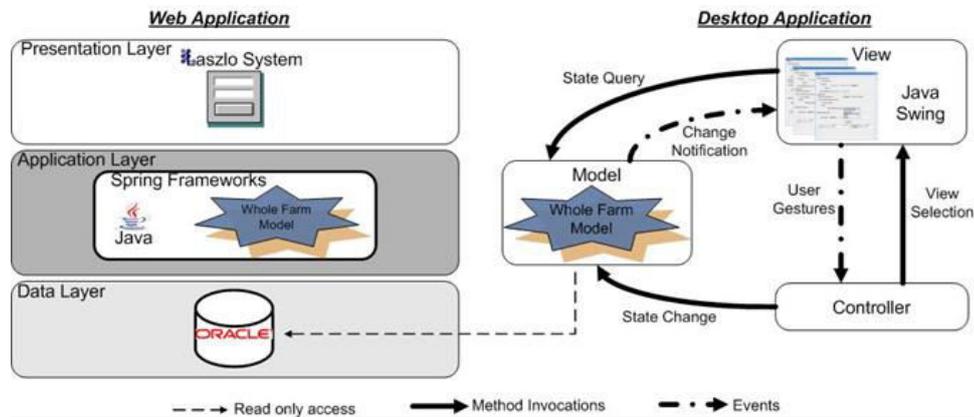


Fig. 2. Arquitectura de Simugan [19]

Simugan está organizado en 5 paquetes (Fig. 3), denominados Users, Whole Farm, Actions, simulator and output. Actions contiene 3 tipos, acciones obligatorias, reglas o acciones de contingencia y acciones de comunicación.

El modelo desarrollado fue utilizado exitosamente en diferentes simulaciones de dominio (Ej. [32], [33]). Sin embargo, el incremento del número de usuarios

permitió identificar déficits adicionales de usabilidad. Los cambios planificados incluían la baja calidad visual y técnica de la administración de los escenarios de simulación y el gran tamaño de las planillas de cálculo de resultados. Por lo tanto, se planificó un rediseño de interfaces y la supresión del envío de las salidas como planillas electrónicas, reemplazándolas mediante el acceso en línea en el sitio de Simugan. Los cambios fueron aplicados manteniendo la lógica previa de metodología ágil [31] pero combinándola con desarrollo centrado en usuario [34], acorde a lo mostrado en la Fig. 4, mientras que en Fig. 5 se muestra un ejemplo de una de las evaluaciones de usabilidad realizadas [20].

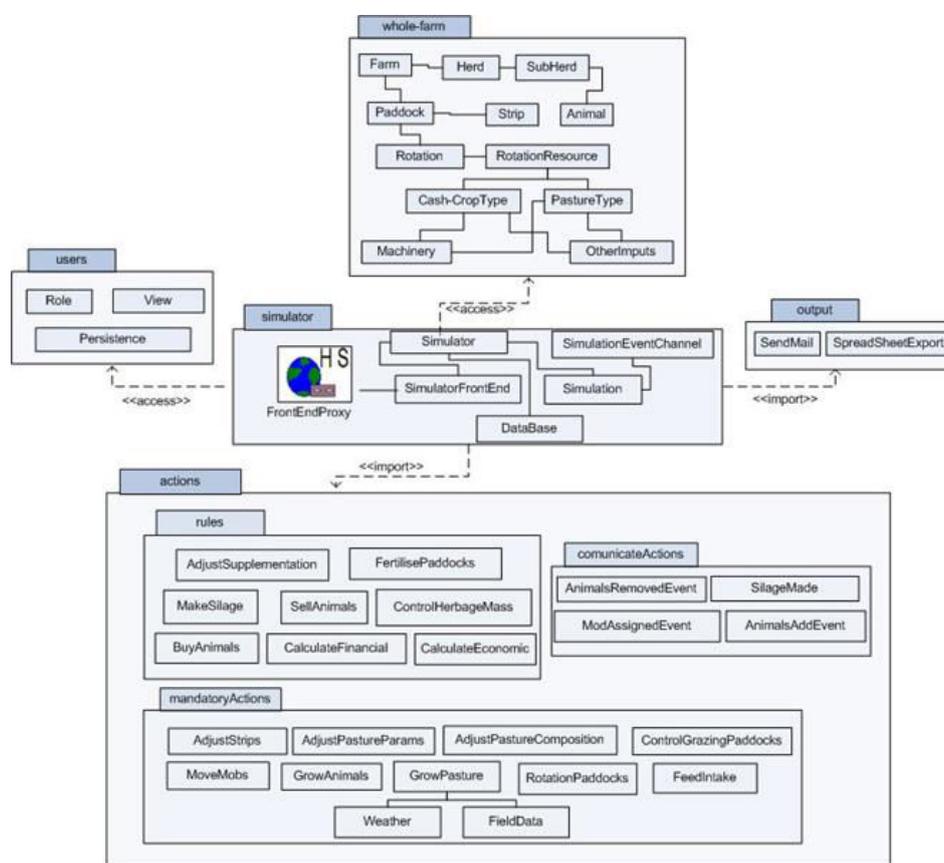


Fig. 3. Paquetes que conforman la estructura global del simulador “Whole-farm” [19]

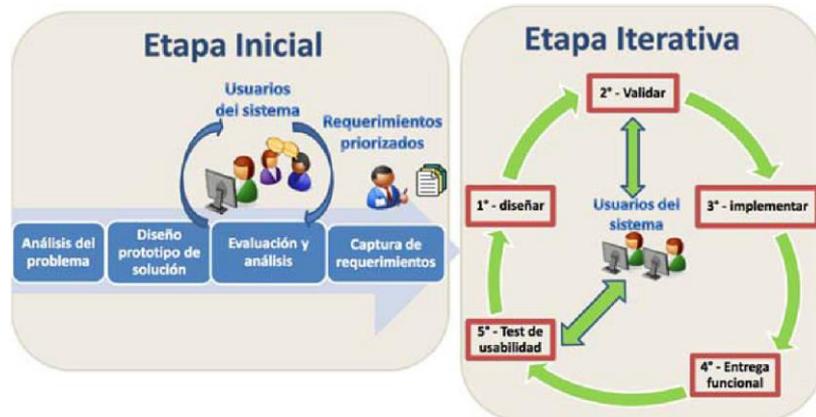
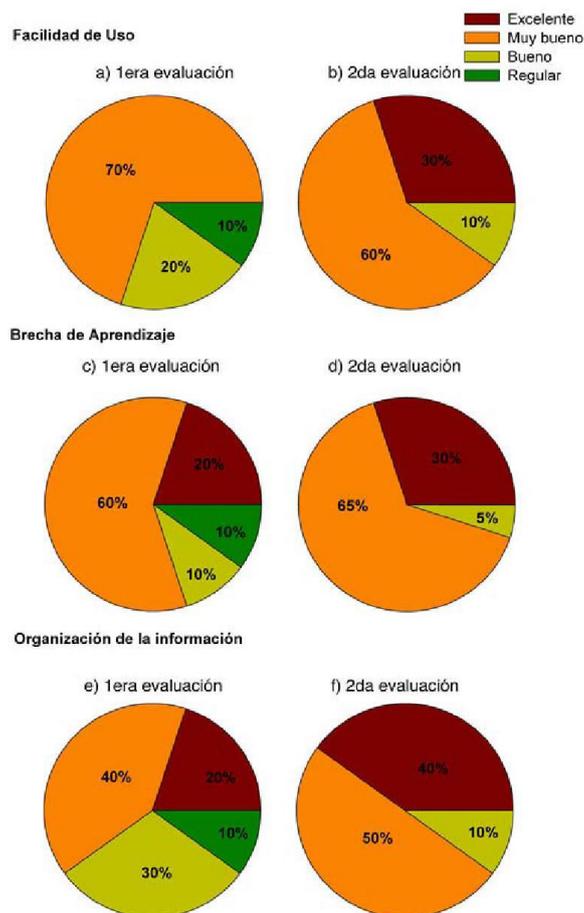


Fig. 4. Proceso de desarrollo integrando Métodos Ágiles y Diseño Centrado en Usuario [20]



**Fig. 5.** Evaluaciones de usabilidad a partir de las modificaciones de las interfaces [20]

Posteriormente, el incremento de mayor número de usuarios (becarios e investigadores) en combinación con escenarios de dominio computacionalmente más demandantes (series de variabilidad interanual más prolongadas en el tiempo, combinación de tratamientos etc.), generó la necesidad de mejorar la performance de Simugan. En particular, se aprovecharon técnicas propias del área de Computación Paralela y Distribuida para incrementar la escalabilidad del simulador (mejora del el rendimiento computacional a medida que se incrementa el número concurrente de usuarios reales).

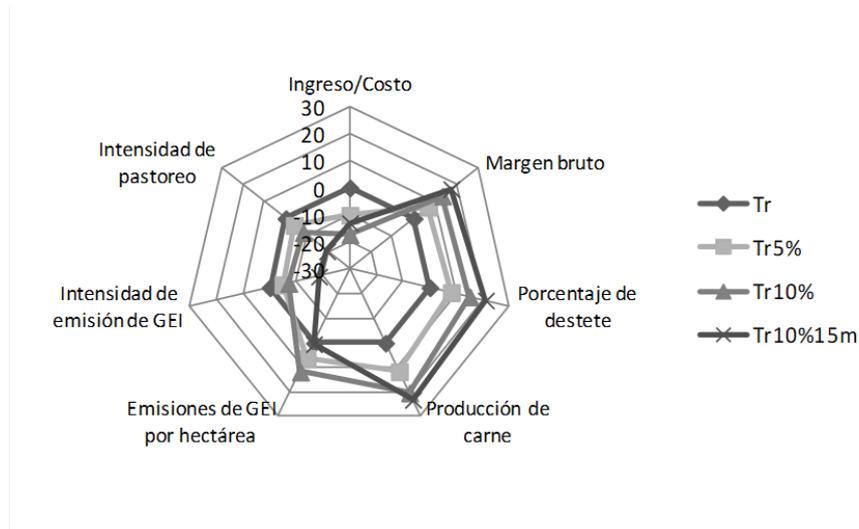
Desde el punto de vista de software, Simugan respeta la arquitectura común que exhiben las aplicaciones de simulación biológica, donde el sistema se estructura mediante entidades biofísicas, como las pasturas y los animales, que son actualizadas por acciones, que por ejemplo hacen crecer las pasturas o cambian de peso a los animales, condición corporal y actividades reproductivas a lo largo de la ejecución de una simulación. Con base en esto, se desarrolló una herramienta de paralelización automática para este tipo de aplicaciones en general y Simugan en particular [23]. El objetivo central de Simugan es brindar un ambiente de experimentación de bajo costo de alta capacidad analítica (gran número de variables, interacciones y escala temporal amplia, desde días a múltiples años) que permita responder preguntas puntuales del sector de forma rápida a múltiples usuarios de forma concurrente. Para esto, se efectuó una paralelización y distribución de cómputos en un clúster computacional para mejorar sustancialmente su escalabilidad. Adicionalmente se efectuó la separación de los códigos que representa la lógica de negocio de la aplicación y el código de que posibilita la ejecución paralela y distribuida. En un trabajo subsiguiente [22], se incorporó a la herramienta el uso de técnicas del área de Big Data para administrar eficientemente los grandes volúmenes de datos intermedios generados -por ejemplo, estado de una entidad biofísica a lo largo del tiempo de simulación- en presencia de simulaciones a largo plazo y/o que involucran una gran cantidad de entidades. Técnicamente, se estudiaron mecanismos de cachés distribuidos, obteniendo importantes mejoras en cuanto a escalabilidad y tiempos de ejecución de Simugan para simulaciones de alto costo computacional.

A partir de las mejoras previamente expuestas, la versión actual de Simugan permite diferentes investigaciones de dominio de gran relevancia para las condiciones locales en diferentes regiones ganaderas del país. Como ejemplos

más recientes, se evaluó la respuesta probabilística económica interanual de sistemas de cría de la Pampa Deprimida ante el agregado estratégico de alimento extra [35], la valoración de un sendero tecnológico y su emisión de metano (gas de efecto invernadero, GEI) en la región Sudoeste de la Pcia. de Buenos Aires [36] o los cambios de emisión global de GEI en ante mejoras tecnológicas en ganadería de la Pampa Deprimida como se muestra en la Fig. 6.[37]. Sin entrar en detalles del dominio agropecuario, en este último caso se ilustra las capacidades de Simugan para cuantificar el impacto potencial integral de tecnologías disponibles (inclusión de pasturas y anticipación del primer servicio de vaquillonas a 15 meses de edad) sobre variables productivas, económicas y de emisión de GEI, de un sistema típico tradicional de producción de carne de la región.

Un aspecto clave mencionado en la experiencia internacional sobre I+D y transferencia tecnológica basados en simulación de sistemas agropecuarios, es la importancia de la división de roles y responsabilidades de los integrantes del equipo interdisciplinario (Tabla 1) para lograr efectividad y eficiencia [18]. En nuestro caso, la trayectoria resumida en este trabajo afortunadamente ha seguido esa recomendación de forma intuitiva, y de forma gradual acorde los diferentes subsidios parciales que se lograron (PICTs, Becas CIC-PBA, CONICET y CIAC (INTA Audeas Conadev). En ese proceso, se conformó una red interinstitucional sobre modelación de sistemas agropecuarios de la región Buenos Aires Sur (Modasur), integrado por el INTA Cerbas, Fac. Cs. Veterinarias y Exactas de la UNCPBA, la Fac. Cs. Agrarias de la UNdMdp, el instituto de promoción de la carne vacuna argentina (IPCVA) y la Comisión de Investigaciones científicas (CIC-PBA). Se menciona la palabra afortunadamente, debido a que todo el proceso no surge de un financiamiento de magnitud y plurianual como el caso mencionado de Australia, sino en nuestro caso de una construcción artesanal acorde a los fondos disponibles, organizada de forma interdisciplinaria e interinstitucional. En la Fig 7, se reflejan los diferentes actores, y aparecen los extensionistas asesores y productores que fortalecen la pertinencia de los temas. En esa conformación, se pueden identificar roles asimilables (Tabla 1) a las recomendaciones de la bibliografía [18]. Las publicaciones científicas realizadas por el grupo reflejan esa composición y equilibrios según el objetivo particular planteado oportunamente. En el período descrito, se han completado los siguientes trabajos finales, 2 tesis Ingeniero Agrónomo (FCA UNdMP), 5 Tesis de Ingeniería de Sistemas (FCE UNCPBA), 2 tesinas (FCV UNCPBA), 3 tesis maestrías Producción Animal (FCA UNdMP), 1 tesis de maestría MBA (FCE UNCPBA), 2 tesis doctoral de Ciencia Animal (FCV UNCPBA), 2 tesis

Doctorado en Ciencias de la Computación.



**Fig. 6.** Impacto integral de diferentes innovaciones potenciales (inclusión de pasturas y manejo diferencial de los animales) sobre variables productivas, económicas y de gases de efecto invernadero, un sistema típico de producción de carne de la Pampa Deprimida [37].

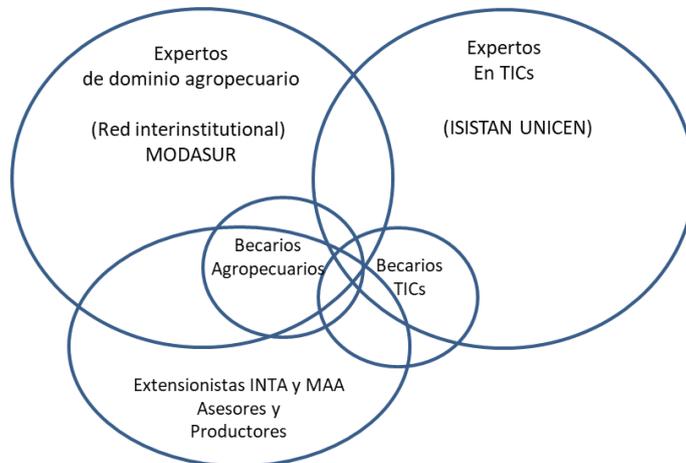
**Table 1.** Roles del equipo para una modelación efectiva del sector agropecuario. (Adaptado de [18]).

Roles	Perfil profesional	Responsabilidad
Custodios del código y su mejora	Expertos de dominio Agropecuario (diferentes disciplinas)	Capacidad científica del modelo: Desarrollo, calibración y evaluación de sus ecuaciones
Custodios del software	Expertos TICs	Implementación de software sólido y eficiente, amigable y de preferencia con código accesible por web services
Custodios del uso	Expertos en el modelo (“champions”) mediante modelación participativa	Usuarios con el conocimiento y habilidad para realizar estudios efectivos de modelación

### 3 Oportunidades de futuras aplicaciones de simulación en el contexto de IOT y de la Ganadería de Precisión

En la primer sección se describió cómo la simulación matemática ha crecido a nivel internacional como una herramienta científica y de evaluación de políticas sectoriales explorando oportunidades la sostenibilidad bajo las condiciones del Cambio Climático [18] y la importancia de la cuantificación de “trade-offs” entre diferentes indicadores clave del sistema [38].

Por otro lado, en la sección segunda se resumió los avances en desarrollo y mantenimiento del simulador integral WEB (Simugan) de empresas ganaderas. En la actualidad, diferentes tecnologías como big data, crowdsourcing, cloud computing, sensores remotos, computación de alta performance están disponibles de forma creciente lo que que permiten imaginar herramientas más colaborativas, flexibles y accesibles [39]–[41]. Estas condiciones han posibilitado que varios autores sugieren la oportunidad en el futuro cercano de pasar de modelaciones genéricas para explorar oportunidades de innovación en los sistemas, a otras donde se focalice en el control de un campo en particular a tiempo real a partir de múltiples fuentes de información [42].



**Fig. 7.** Integrantes y roles durante el desarrollo, mejora y uso de Simugan

El incremento exponencial de la capacidad de interconexión digital de objetos cotidianos con internet conocido comúnmente como internet de las cosas [24], permite diseñar e imaginar múltiples aplicaciones a diferentes dominios, al igual que para el sector agropecuario [25], [43]. Un ejemplo de esto último lo

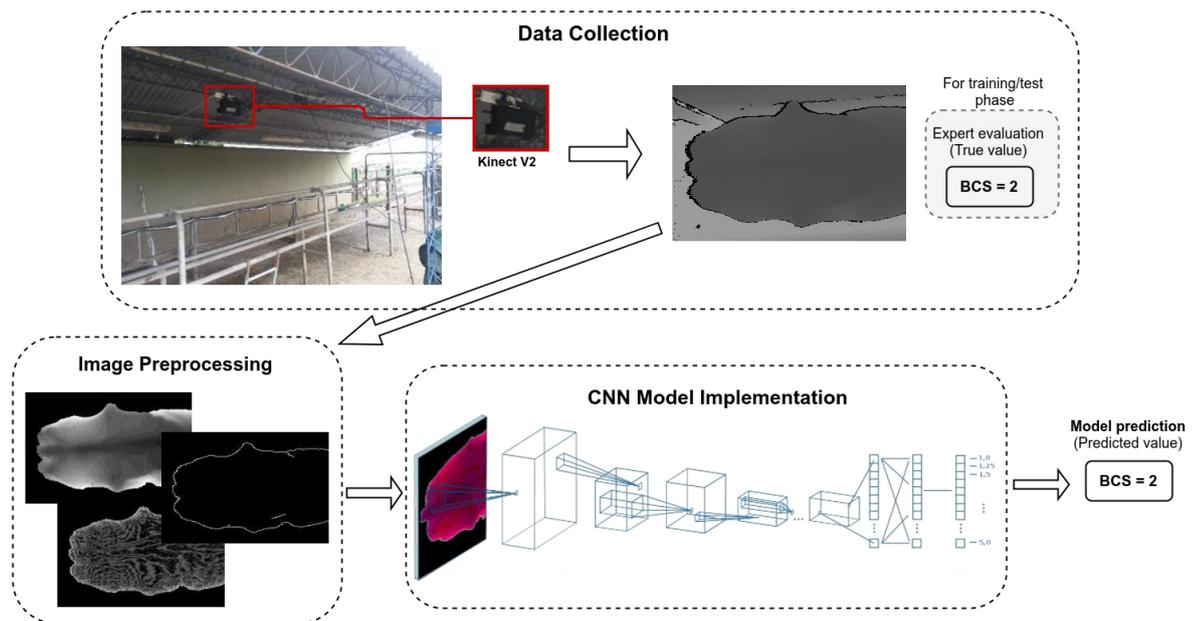
constituye la propuesta de red de sensores presentada para un sistema de producción lechera por [44]. En ese contexto y como un resumen general adaptado, la figura 9 representa la oportunidad de avanzar hacia el desarrollo y puesta a punto localmente de un Sistema integral de gestión de la información de una empresa ganadera que incorpora capacidades logradas de Simugan, para facilitar las decisiones a tácticas operativas y estratégicas para la sostenibilidad integral de la producción. Avanzar en ese sentido, implica el gran desafío de desarrollar/adaptar componentes hard-soft que permitan generar información a tiempo real para el apoyo de las decisiones, suficientemente rústicos y eficientes en condiciones de campo y económicamente accesibles en las condiciones de la región.



**Fig. 8.** Integración potencial de un Sistema integral de gestión con diferentes fuentes de información de una empresa ganadera

A los fines de explorar la oportunidad de la captura automática de datos, en nuestro grupo se desarrolló un prototipo hard-soft que utiliza cámaras con sensores de profundidad, particularmente cámaras ToF (Time of Flight) y una arquitectura de aprendizaje profundo (deep learning) para la estimación automática de la condición corporal (BCS, del inglés Body Condition Score) en vacas lecheras [45], [46]. El prototipo (Fig.11) es un sistema BCS que opera sólo con imágenes como entrada, efectivo, automático, de bajo costo y de aplicación en tiempo real. Los modelos alcanzaron una efectividad del 97% para una precisión de BCS de 0.5 unidades, y del 82% para una precisión de 0.25 unidades. El aprendizaje profundo refiere a una familia de algoritmos de aprendizaje por máquina cuyo objetivo es el modelado de relaciones complejas entre datos de entrada (la imagen del lomo de la vaca en este caso) para producir datos asociados de salida (score estimado para la imagen en

términos de la escala de BCS). Este proceso se realizó a partir de la combinación de múltiples transformaciones no lineales de los datos de entrada, donde la cantidad y tipo de transformaciones utilizadas determina la “arquitectura”. Mayor detalle técnico de la solución pueden encontrarse en los trabajos mencionados [45], [46].



**Fig. 9.** Resumen metodológico del dispositivo automático para evaluar la condición corporal de vacas [45].

#### 4 Conclusiones

El contexto internacional de uso creciente de modelación matemática para identificar oportunidades de mitigación de GEI y adaptación al Cambio Climático de sistemas ganaderos y agropecuarios, tiene gran relevancia para Sudamérica, en calidad de gran actor global de la temática con más de 200 millones de cabezas bovinas. Eso contrasta con la baja disponibilidad nacional y regional de herramientas informáticas WEB que reflejen las características y manejos de los sistemas regionales, y que además tengan mantenimiento y mejora a partir de la creciente disponibilidad tecnológica de las tecnologías de la información y comunicación, TICs [33]. Asociado a lo anterior, recientemente se ha reportado una muy baja densidad de publicaciones

científicas indexadas focalizadas en emisiones y adaptación ganadera de la región [47]. El desarrollo descrito en este trabajo (Simugan), ha sido muy enriquecedor y desafiante, sólo posible debido a las múltiples colaboraciones interdisciplinarias e interinstitucionales, sostenidas por apoyos competitivos de diferentes fuentes. El balance global es muy positivo en base a formación interdisciplinaria de RRHH y publicaciones. Sin embargo, su continuidad futura como herramienta científica y tecnológica en el dominio agropecuario sobre la que se ha invertido significativos fondos públicos, requerirá del fortalecimiento de la red interinstitucional que lo utilice, de modo de reasegurar el financiamiento de un equipo básico de expertos TICs para el mantenimiento y mejoras del desarrollo.

El crecimiento exponencial de diferentes tecnologías como big data, crowdsourcing, cloud computing, sensores remotos, computación de alta performance y la capacidad de interconexión de dispositivos mediante internet (Internet de las cosas), permiten ilusionarse en propuestas orientadas a ganadería de precisión y de campo inteligente. Sin embargo, la posibilidad de adopción de estas tecnologías integrables a un Sistema integral de gestión de la información, dependerá de diseños orientados al usuario, que contemplen las limitaciones de conectividad, capacitación del personal y de percepción de utilidad para la toma de decisión por parte de los productores.

## 5 Bibliografía

- [1] J. W. Jones et al., “Brief history of agricultural systems modeling,” *Agric. Syst.*, vol. 155, pp. 240–254, 2017.
- [2] D. Chapman, L. Malcolm, M. Neal, Cullen, and B., “Risk and uncertainty in dairy production systems: Research concepts, tools and prospects,” *Proc. 3rd Dairy Sci. Symp. Natl. Dairy Alliance(Melbourne)*, pp. 476–491, 2007.
- [3] S. Woodward, A. Romera, W. B. Beskow, and S. J. Lovatt, “Better simulation modelling to support farming systems innovation: review and synthesis,” *New Zeal. J. Agric. Res.*, vol. 51, no. 3, pp. 235–252, 2008.
- [4] SENASA, “Servicio Nacional de Sanidad Animal,” [www.senasa.gov.ar](http://www.senasa.gov.ar), 2019. .
- [5] IPCVA, “Datos ganaderos,” [www.ipcva.com.ar](http://www.ipcva.com.ar), 2019. .
- [6] F. Andrade et al., *Los desafíos de la agricultura argentina*. Bs As.: INTA, 2017.
- [7] H. M. Arelovich, R. D. Bravo, and M. F. Martínez, “Development, characteristics, and trends for beef cattle production in Argentina,” *Anim. Front.*, vol. 1, no. 2, pp. 37–45, 2011.

- [8] H. Berger, C. Machado, and N. Auza, "Modelo dinámico simple de sistemas de cría (Críasim): 1. Estructura y capacidades.," *AAPA*, vol. 22, no. 1, pp. 346–348, 2002.
- [9] C. Machado Ponssa, E., "Evaluación económica del engorde a corral de terneras: Parte I. Simulación a partir de un caso real.," *Rev. Argentina Prod. Anim.*, vol. 15:, no. 3–4, pp. 1148–1150, 1995.
- [10] C. Machado, E. Ponssa, J. Duhalde, and L. Di Nezio, "Un modelo simple para la decisión de actividades agrícola - ganaderas bajo condiciones de riesgo a partir de datos locales.," *Asoc. Argentina Econ. Agrar.*, vol. 8, no. 2, pp. 89–95, 2005.
- [11] C. F. Machado, "Field and modelling studies of the effect of herbage allowance and maize grain feeding on animal performance in beef cattle finishing system.," Unpubl. PhD Thesis, Massey Univ. New Zealand., p. 271 p., 2004.
- [12] J. A. Nasca, C. R. Feldkamp, J. I. Arroquy, and D. Colombatto, "Efficiency and stability in subtropical beef cattle grazing systems in the northwest of Argentina," *Agric. Syst.*, vol. 133, pp. 85–96, 2015.
- [13] A. J. Romera, S. T. Morris, J. Hodgson, W. D. Stirling, and S. J. R. Woodward, "A model for simulating rule-based management of cow-calf systems," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 42, pp. 67–86, 2004.
- [14] M. Sautier, M. Piquet, M. Duru, and R. Martin-Clouaire, "Exploring adaptations to climate change with stakeholders: A participatory method to design grassland-based farming systems," *J. Environ. Manage.*, vol. 193, 2017.
- [15] C. Faverin, R. Gratton, and C. Machado, "Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de carne vacuna de base pastoril. Revisión bibliográfica.," *Rev. Argentina Prod. Anim.*, vol. 34, no. 1, 2015.
- [16] F. Bilotto, P. Recavarren, R. Vibart, and C. F. Machado, "Backgrounding strategy effects on farm productivity, profitability and greenhouse gas emissions of cow-calf systems in the Flooding Pampas of Argentina," *Agric. Syst.*, vol. 176, p. 102688, 2019.
- [17] A. Del Prado, P. Crosson, J. E. Olesen, and C. A. Rotz, "Whole-farm models to quantify greenhouse gas emissions and their potential use for linking climate change mitigation and adaptation in temperate grassland ruminant-based farming systems.," *animal*, vol. 7, pp. 373–385, 2013.
- [18] A. D. Moore, R. J. Eckard, P. J. Thorburn, P. R. Grace, E. Wang, and D. Chen, "Mathematical modeling for improved greenhouse gas balances, agro-ecosystems, and policy development: lessons from the Australian experience," *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.*, vol. 5, no. 6, pp. 735–752, 2014.

- [19] C. F. Machado, S. T. Morris, J. Hodgson, M. A. Arroqui, and P. A. Mangudo, "A web- based model for simulating whole-farm beef cattle systems," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 74, pp. 129–136, 2010.
- [20] M. Arroqui et al., "Combination of Agile Development and User Centered Design to Improve the Usability of a Beef-Cattle Farm Simulator," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 7, pp. 3385–3392, 2016.
- [21] M. Arroqui, C. Mateos, C. Machado, and A. Zunino, "RESTful Web Services improve the efficiency of data transfer of a whole-farm simulator accessed by Android smartphones," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 87, pp. 14–18, 2012.
- [22] M. Longo, M. Arroqui, J. Rodriguez, C. Machado, C. Mateos, and A. Zunino, "Extending JASAG with data processing techniques for speeding up agricultural simulation applications: A case study with Simugan," *Inf. Process. Agric.*, vol. 3, no. 4, pp. 235–243, 2016.
- [23] M. Arroqui, J. R. Alvarez, H. Vazquez, C. Machado, C. Mateos, and A. Zunino, "JASAG: a gridification tool for agricultural simulation applications," *Concurr. Comput. Pract. Exp.*, vol. 27, pp. 4716–4740, 2015.
- [24] E. Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues," *Comput. Commun.*, vol. 54, pp. 1–31, 2014.
- [25] D. Berckmans, "Smart farming for Europe: value creation through precision livestock farming," in *Precision livestock farming applications: Making sense of sensors to support farm management*, 2015, pp. 25–36.
- [26] I. Halachmi, *Precision livestock farming applications: Making sense of sensors to support farm management*. Wageningen Academic Publishers, 2015.
- [27] D. Brennan and J. Gooday, "Whole farm modeling using Extend™ simulation software.," vol. 21 ref. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics (ABARE), pp. 65–75, 1998.
- [28] K. M. Beck et al., "Manifesto por Agile Software Development," <http://agilemanifesto.org/>, 2001. .
- [29] A. Cockburn, "A Human-Powered Methodology for Small Teams," , Addison-Wesley Prof., p. 336 p., 2004.
- [30] M. Arroqui, P. Mangudo, C. Marcos, and C. Machado, "Agile Development for a Beef-Cattle Farm Simulator," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 7, no. 5, 2009.
- [31] P. Mangudo, M. Arroqui, C. Marcos, and C. F. Machado, "Rescue of a beef-cattle system: Crystal Clear in action.," *Int. J. Agil. Extrem. Softw. Dev.*, vol. 1, pp. 6–22, 2012.

- [32] S. M. Hara et al., "Simulación de emisiones de metano entérico en un sistema de invernada pastoril en región de la pampa deprimida," 37o Congr. AAPA – 2nd Jt. Meet. ASAS-AAPA – XXXIX Congr. SOCHIPA, vol. 34, no. 1, p. 223, 2014.
- [33] C. F. Machado, F. Bilotto, H. Berger, P. Mangudo, and A. Arroqui, "Evaluación de oportunidades de innovación de sistemas productivos de carne bovina con modelos de simulación," XXIV Congr. la Asoc. Latinoam. Prod. Anim. y XL Congr. la Soc. Chil. Prod. Anim. Sochipa. A.G. Puerto Varas, Chile., 2015.
- [34] V. Venkatesh, M. Morris G., G. Davis B., and F. Davis D., "User acceptance of information technology: Toward a unified view ," MIS Q. , vol. 27, no. 3, pp. 425–478, 2003.
- [35] H. Berger, F. Bilotto, L. Bell, and C. Machado, "Feedbase intervention in a cow-calf system in the Flooding Pampas of Argentina: 2. Estimation of the marginal value of additional feed," *Agric. Syst.*, vol. 158, pp. 68–77, 2017.
- [36] C. Fernández Rosso, A. Lauric, G. Deleo, F. Bilotto, C. Torres Carbonel, and Cl. F. Machado, "Modelación del impacto productivo, económico, ambiental en sistemas de cría vacuna del Sudoeste Bonaerense Semiárido," *Rev. Investig. Agropecu.*, vol. 44, 2018.
- [37] C. Faverin, F. Bilotto, C. Fernández Rosso, and C. F. Machado, "Modelación productiva, económica y de gases de efecto invernadero de sistemas típicos de cría bovina de la pampa deprimida," *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, vol. 35. scielocl, pp. 14–25, 2019.
- [38] S. M. Capalbo, C. Seavert, J. M. Antle, J. Way, and L. Houston, "Understanding Tradeoffs in the Context of Farm-Scale Impacts: An Application of Decision-Support Tools for Assessing Climate Smart Agriculture BT - Climate Smart Agriculture : Building Resilience to Climate Change," L. Lipper, N. McCarthy, D. Zilberman, S. Asfaw, and G. Branca, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 173–197.
- [39] D. P. Holzworth et al., "Agricultural production systems modelling and software: Current status and future prospects," *Environ. Model. Softw.*, vol. 72, pp. 276–286, 2015.
- [40] S. J. C. Janssen et al., "Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology," *Agric. Syst.*, vol. 155, pp. 200–212, 2017.
- [41] J. W. Jones et al., "Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science," *Agric. Syst.*, vol. 155, pp. 269–288, 2017.

- [42] M. J. O'Grady and G. M. P. O'Hare, "Modelling the smart farm," *Inf. Process. Agric.*, vol. 4, no. 3, pp. 179–187, 2017.
- [43] M. H. Memon, W. Kumar, A. R. Memon, B. S. Chowdhry, M. Aamir, and P. Kumar, "Internet of Things (IoT) enabled smart animal farm," in *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2016.
- [44] C. Kulatunga, L. Shalloo, W. Donnelly, E. Robson, and S. Ivanov, "Opportunistic Wireless Networking for Smart Dairy Farming," *IT Prof.*, vol. 19, no. 2, pp. 16–23, 2017.
- [45] J. Rodríguez Alvarez et al., "Body condition estimation on cows from depth images using Convolutional Neural Networks," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, pp. 12–22, 2018.
- [46] J. Rodríguez Alvarez et al., "Estimating Body Condition Score in Dairy Cows From Depth Images Using Convolutional Neural Networks, Transfer Learning and Model Ensembling Techniques," *Agronomy*, vol. 9, no. 2, 2019.
- [47] F. J. Escarcha, A. J. Lassa, and K. K. Zander, "Livestock Under Climate Change: A Systematic Review of Impacts and Adaptation," *Climate*, vol. 6, no. 3, 2018.