

03-037

FROM LAMBSCAN TO LAMBTRACK, THE EVOLUTION OF WEIGHING IN OVINE LIVESTOCK FARMING

Samperio, Enrique ⁽¹⁾; Gil-Pérez, Ignacio ⁽¹⁾; Rebollar, Rubén ⁽¹⁾; Lidón, Iván ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Zaragoza

Precision livestock farming has helped to promote technological progress in livestock farming. In the porcine or bovine sector, techniques have been applied to improve the conditions of the animal, productivity or the product quality. One of the parameters that has been most studied in precision livestock farming is weight, however, in the ovine sector this was carried out by means of a scale or with the farmer's naked eye. LambScan, a device that allows the lamb to be weighed by means of live zenithal images, was born to make up for this deficit and to push the sector towards the necessary technification. This device achieved the objective in a simple, fast and low-cost way, but it was too bulky and heavy, and it also had limitations in terms of image processing. The evolution of mobile technology in recent years provides the farmer with a more accessible tool and allows extending the functionality developed in LambScan by solving the initial problems. Therefore, this communication describes the project to develop a mobile application that monitors the weight and growth of the lamb from birth to slaughter, technically and economically improving its predecessor.

Keywords: precision livestock farming; lambs; weighing; mobile application; Neural Networks

DE LAMBSCAN A LAMBTRACK, EVOLUCIÓN DEL PESAJE EN LA GANADERÍA OVINA

La ganadería de precisión ha ayudado a fomentar la evolución tecnológica del sector ganadero. En el sector porcino o el vacuno, se han aplicado técnicas que han permitido mejorar las condiciones del animal, la productividad o la calidad del producto. Uno de los parámetros que más se ha estudiado en la ganadería de precisión es el peso, sin embargo, en el sector ovino esto se realizaba mediante una romana o a simple vista del ganadero. Para suplir este déficit e impulsar el sector hacia una tecnificación necesaria nació LambScan, un dispositivo que permite pesar al cordero mediante imágenes cenitales en vivo. Este dispositivo cumplía el objetivo adecuadamente de forma sencilla, rápida y sin un coste muy elevado, pero era demasiado aparatoso y pesado, y además contaba con limitaciones a nivel de procesamiento de imágenes. La evolución de la tecnología móvil en los últimos años permite al ganadero contar con una herramienta más accesible y permite ampliar la funcionalidad desarrollada en LambScan solventando los problemas iniciales. Por ello, esta comunicación describe el proyecto de desarrollo de una aplicación móvil que monitorice el peso y el crecimiento del cordero desde su nacimiento hasta su sacrificio, mejorando técnica y económicamente a su predecesora.

Palabras clave: ganadería de precisión; corderos; pesaje; aplicación móvil; Redes Neuronales



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1.Introducción

La ganadería de precisión, también conocida como PLF (Precision Livestock Farming), está adquiriendo cada vez más relevancia en la optimización de las explotaciones ganaderas. Existen numerosos estudios e investigaciones que respaldan la hipótesis de que la PLF puede mejorar significativamente los procesos productivos de la ganadería (Tullo et al., 2019). Entre las prácticas destacadas se encuentra la monitorización de los animales para analizar su comportamiento, como por ejemplo, la detección de enfermedades a través del análisis de la distribución del peso del animal en sus cuatro patas (Byrne et al., 2019), la mejora de la alimentación mediante el control de la ingesta de alimento y el análisis de su conversión en energía, tocino o músculo (Monteiro et al., 2017) y la optimización de las condiciones ambientales de las instalaciones a través de un sistema especial de escape de aire (Zhang et al., 2017). Todas estas prácticas buscan mejorar el bienestar de los animales y, por ende, la calidad de los productos obtenidos de ellos.

En los últimos años, el procesamiento de imágenes se ha convertido en una herramienta clave y relevante dentro de la PLF. A través de esta técnica se han logrado diversos objetivos, como la medición morfológica mediante tecnología 3D (Le Cozler et al., 2019), la estimación de masa muscular (Alsahaf et al., 2019), la detección y seguimiento de grupos de animales (Li et al., 2019) y el control de peso mediante el uso de cámaras térmicas (Stajniko et al., 2008). En particular, la monitorización del crecimiento del animal mediante cámaras térmicas resulta de gran relevancia. En conjunto, estos hallazgos demuestran que el procesamiento de imágenes es una herramienta fundamental para mejorar diferentes aspectos de la cadena de valor ganadera.

La monitorización del peso en el ganado es un factor clave para los ganaderos, ya que les permite controlar el crecimiento y el estado de salud de los animales. Sin embargo, el pesaje tradicional puede resultar estresante para el animal, y puede interferir en su rutina diaria. Por eso, el procesamiento de imágenes se ha convertido en una técnica muy interesante para esta tarea, ya que es más rápida y menos invasiva que las técnicas convencionales (Vranken & Berckmans, 2017). En la literatura se encuentran estudios que utilizan el procesamiento de imágenes para estimar el peso en cerdos (Yongsheng Wang et al., 2006), incluso mediante la aplicación de redes neuronales para predecirlo (Wang et al., 2008). También se ha utilizado un sistema similar para medir el peso de vacas frisonas (Tasdemir et al., 2011), y la captación de imágenes 3D de la parte trasera de las vacas se ha utilizado para identificar el peso del animal y las propiedades de la leche (Kuzuhara et al., 2015).

Aunque los avances tecnológicos en la monitorización del peso en el ganado están cada vez más extendidos, la introducción de estas técnicas no ha sido uniforme en todas las especies. En particular, la ganadería ovina se encuentra entre las menos tecnológicas debido a la falta de recursos y la menor producción y venta de sus productos en comparación con otros sectores, como el vacuno o el porcino. Además, el precio de los productos ovinos no ha experimentado el mismo aumento en los últimos años que otros sectores, y la poca cualificación de los ganaderos ha contribuido a ralentizar el progreso de la tecnificación en las explotaciones ovinas. Ante esta situación, se hace necesaria la implementación de soluciones tecnológicas de bajo costo que permitan al ganadero facilitar tareas cotidianas, con un uso sencillo de las aplicaciones para que la adaptación a los nuevos sistemas no suponga un problema. En este sentido, el control del peso se presenta como una variable de gran interés tanto en el sector ovino como en otros, ya que permite al ganadero controlar el crecimiento, la nutrición, la capacidad reproductiva o incluso la capacidad muscular de sus animales.

En el caso más concreto del sector ovino, se ha demostrado que controlar el peso en todas las fases del crecimiento de la oveja sería beneficioso para el desarrollo del animal (Brown et

al., 2015). En el caso de los corderos destinados a la producción de carne, una correcta estimación del peso puede tener un impacto económico importante para el ganadero, ya que los corderos que superen o no alcancen los límites establecidos por las empresas compradoras se valorarán peor que aquellos que se encuentren dentro de los rangos determinados. Además, el peso del cordero durante el período de gestación también puede influir en su crecimiento posterior. Por ejemplo, un cordero con un peso de nacimiento alto tiene más probabilidades de crecer más rápido que uno con un peso menor hasta alcanzar los 20 kg (Greenwood et al., 1998). Por otro lado, se ha demostrado que un cordero con bajo peso tiene más del doble de posibilidades de no sobrevivir en el período de lactancia en comparación con uno con un peso más alto (Hatcher et al., 2008). Por lo tanto, es fundamental contar con técnicas de control de peso precisas y fiables en el sector ovino para asegurar el desarrollo óptimo de los animales y la rentabilidad del ganadero.

A pesar de que el peso es una variable importante en el ganado ovino, solo un pequeño porcentaje de los ganaderos (17%) lo miden de forma regular. Además, la mayoría de estos ganaderos (96%) utilizan métodos manuales o estimaciones visuales para realizar la medición (Jones et al., 2011). En el primero de los casos, el proceso es bastante tedioso y genera un alto nivel de estrés en el animal, lo que podría provocar un deterioro de la calidad de la carne (Ferguson & Warner, 2008)(Adzitey, 2011). En el segundo caso, la precisión es escasa, ya que depende de la experiencia del ganadero. Por lo tanto, una monitorización adecuada del peso puede mejorar significativamente la rentabilidad del ganadero, permitir un mejor control del crecimiento y prevenir enfermedades, así como también controlar la alimentación de las ovejas preñadas para obtener corderos con el peso óptimo para su desarrollo.

Se ha observado que el diseño es un elemento de innovación y puede ser un factor de dinamización dentro de la industria agroalimentaria (González-Yebra et al., 2019). Aunque actualmente está más presente el diseño gráfico, cada vez se observan más aplicaciones dentro de esta industria. En este sentido y dentro de la PLF, el diseño industrial tiene un papel fundamental. Un buen desarrollo de los dispositivos, centrado en la actividad a realizar y en el usuario final, facilita la inserción de la tecnología en el sector.

Como primer paso hacia el control del peso, se desarrolló LambScan (Samperio et al., 2021), un dispositivo que permitía medir el peso mediante una imagen 3D cenital. Este proyecto ayudó a la tecnificación del sector añadiendo un método de pesaje con un coste razonable para el ganadero y una medida más precisa que lo que se estaba utilizando hasta la fecha. Sin embargo, tenía algunas limitaciones que por las características del dispositivo y del sector eran difíciles de solventar. Por ello, se comenzó a desarrollar LambTrack, una evolución del dispositivo anterior con mejores prestaciones, más funcionalidades, desarrollado en un dispositivo más cómodo y accesible y de un coste mucho menor.

Ambos proyectos, LambScan y LambTrack están enfocados en el desarrollo de un sistema de pesado que permita al ganadero aumentar las posibilidades en este sentido, mejorando la precisión de los métodos tradicionales y proporcionando herramientas modernas que ayuden a la tecnificación del sector. Esta comunicación describe el funcionamiento de LambScan y su evolución hacia LambTrack, una aplicación móvil que permite pesar y monitorizar el crecimiento del cordero. Además, se analiza cómo se ha realizado esa evolución entre ambos dispositivos, comparando sus desarrollos, sus características y mostrando el resultado final de ambos proyectos.

2. Objetivo

El objetivo de esta comunicación es analizar la evolución entre dos dispositivos que añaden un método de pesaje al sector ovino además de describir el desarrollo de LambTrack, una

aplicación móvil que permite pesar y monitorizar el crecimiento del cordero desde su nacimiento hasta su sacrificio.

3. Metodología

Este estudio se basa en un proyecto que está terminado, LambScan, y la evolución del mismo que está en desarrollo, LambTrack. Para el desarrollo de ambos proyectos se han utilizado corderos de la raza Rasa Aragonesa. El 97% de la distribución de la raza mencionada se encuentra en Aragón, principalmente en el Valle del Ebro. Hasta el 31 de diciembre de 2018, el censo de animales superaba los 1,3 millones, incluyendo más de 374,000 reproductores que se encontraban en 454 explotaciones. Esta raza posee un sistema de producción semiextensivo y destaca por su alta rusticidad, instinto gregario, buen instinto maternal durante todo el año, suficiente capacidad lechera, capacidad de pastoreo y adaptación al difícil entorno en el que se desarrolla.

La raza se distingue por producir un tipo de cordero característico de la región con la denominación de origen "Ternasco de Aragón". Estos corderos deben tener al menos 40 días de lactancia y un peso vivo entre 18-26 kg.

Para lograr una explotación rentable de la raza Rasa Aragonesa, es crucial aumentar el número de corderos vendidos por oveja y año. Una estrategia alternativa para incrementar la rentabilidad sería mejorar la eficiencia de las ovejas, aumentando tanto la productividad por parto como la rentabilidad económica obtenida por la venta de carne. El peso de los corderos es un factor determinante en ambos casos.

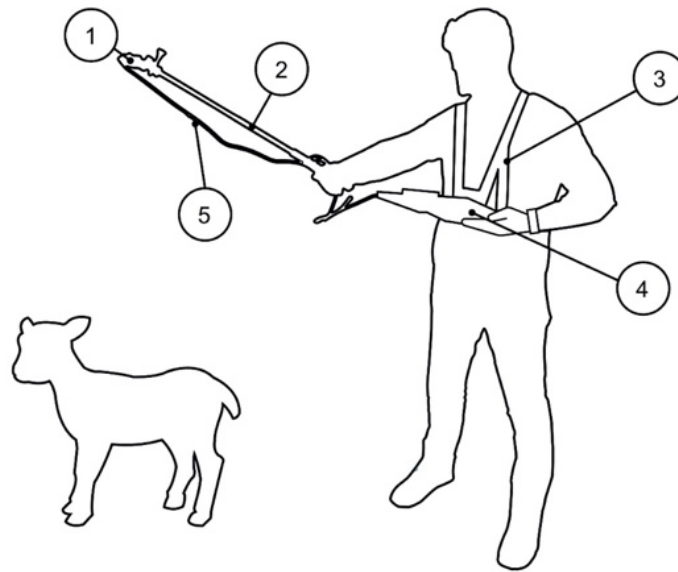
3.1 Toma de datos

En el proyecto que se desarrolló en 2021 (Samperio et al., 2021), se tomaron fotografías cenitales de 272 corderos pertenecientes a la raza Rasa Aragonesa. Los corderos evaluados presentaban un peso máximo de 27,7 kg y un peso mínimo de 13,5 kg.

En primer lugar, se pesaba a cada cordero en una báscula electrónica que medía 20 pesos en 6 segundos y calculaba la media de estas mediciones. Durante este proceso, se separaban los corderos por género y se les asignaba una identificación.

El dispositivo utilizado para capturar las imágenes, el cual es el mismo que el utilizado para el desarrollo del proyecto, se ilustra en la figura 1. Consiste en una cámara 3D (1) conectada a un ordenador (4) mediante un cable USB (5), que se sostiene con un monopode (2) y un arnés (3) que sujeta la computadora. De esta manera, un usuario puede operar el dispositivo con total autonomía.

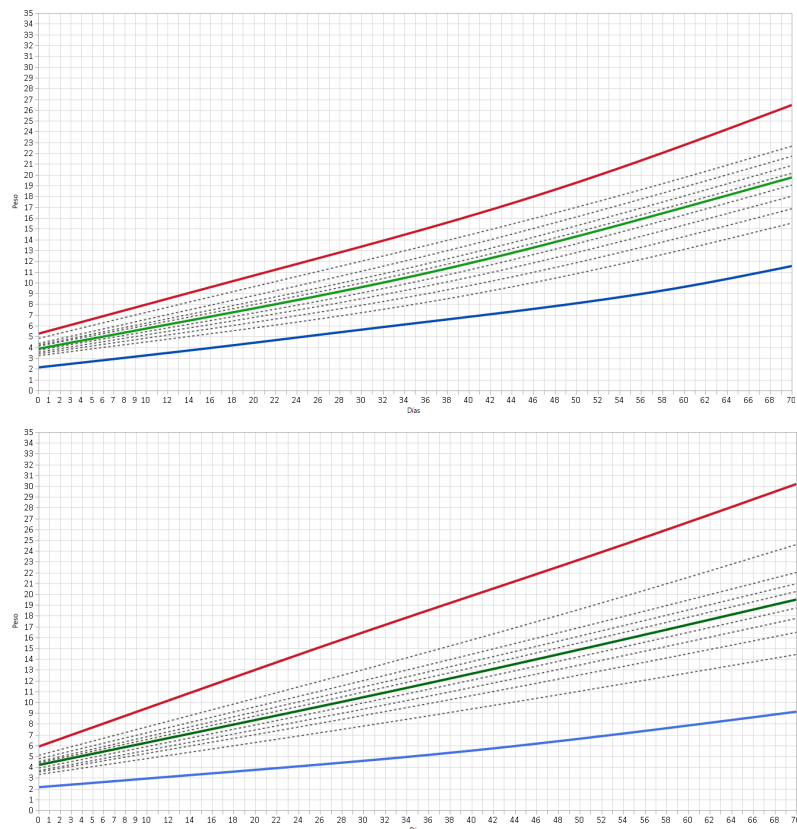
Figura 1: Elementos y posicionamientos del dispositivo



El diseño del dispositivo se realizó de tal manera que su costo no represente una gran inversión para los agricultores. El software del dispositivo es compatible con cualquier ordenador convencional y la cámara utilizada es de bajo coste. Además, los demás componentes del dispositivo no suponen un costo significativo en comparación con el valor del ordenador y la cámara.

Como se ha comentado en la introducción, el control del crecimiento del cordero ayuda a un desarrollo óptimo del cordero y mejora la rentabilidad obtenida para el ganadero. Esto hizo que, durante el planteamiento de LambTrack, se le añadiesen funcionalidades que su predecesor no tenía como el seguimiento del crecimiento del cordero desde su nacimiento hasta su sacrificio. Esto hizo modificar la toma de datos respecto a LambScan, ya que el ganadero necesita saber si el cordero esta creciendo adecuadamente. Para ello, se tomaron pesos de más de 240 corderos desde su nacimiento hasta su sacrificio de los cuales 116 eran hembras y 124 machos, 134 provenían de partos múltiples y 106 de partos simples. Estos datos se utilizaron para elaborar 4 graficas de crecimiento identificando en ellas los percentiles 99, 50 y 1 como se puede ver en la figura 2. Estas gráficas correspondían a ambos sexos y ambos tipos de parto.

Figura 2: Gráficas de crecimiento de peso durante 70 días desde el nacimiento



Nota: Parto múltiple de hembras (Arriba), parto múltiple de machos (Abajo). Percentil 99 (rojo), percentil 50 (verde), percentil 1 (azul).

En este caso todas las pesadas se realizaron mediante romana y en las mismas condiciones y con los mismos trabajadores.

Por otro lado, se tomaron imágenes que más adelante se utilizarían para entrenar el modelo de predicción de peso. Esta toma de datos se dividió en dos fases, una primera fase en la cual se capturaron imágenes de 36 corderos con pesos dentro del rango especificado por la denominación de origen "Ternasco de Aragón" (18-26 kg), y una segunda fase en la que se tomaron imágenes de 12 corderos a los 15 días de su nacimiento y se repitió este proceso cada dos semanas hasta su sacrificio para ver su evolución. En esta segunda fase se tomaron todas las imágenes a los mismos 12 corderos iniciales en las mismas condiciones ambientales y con los mismos operarios.

Para conservar las condiciones anteriormente señaladas, todas las imágenes se tomaron en el mismo set. Este set consistía en un corral de 1 x 1,5 metros que se recubrió con una goma negra, adecuada para que no generara zonas de reflexión de luz en la imagen y permitiese distinguir al cordero. Se preparó un armazón de PVC que permitía captar todo el corral en la misma escena colocando la cámara 3D a una altura de 2,05 metros (Figura 3). La cámara utilizada fue una IntelReal Sense 435i, el mismo modelo que en LambScan.

Figura 3: Set de toma de fotografías



3.2 Procesamiento de la imagen

En ambos casos los archivos se obtuvieron en formato ROSBAG, sin embargo, en LambScan estos se procesaron para extraer las imágenes RGB y las imágenes de profundidad, mientras que en LambTrack solo se extrajeron las imágenes RGB.

En el caso de LambScan, se utilizaron bibliotecas de procesamiento de imágenes para procesar los archivos, lo que proporcionó las funciones necesarias para segmentar y clasificar las imágenes (Van Der Walt et al., 2014). En primer lugar, se llevaron a cabo operaciones morfológicas para seleccionar las imágenes adecuadas, eliminando los objetos pequeños de las mismas y etiquetando los objetos restantes. Posteriormente, se eliminaron los objetos que sobrepasaban los límites de la imagen y se obtuvo el área en mm^2 a partir de la máscara resultante. Para ello, se utilizó una biblioteca propia de la cámara para obtener las coordenadas del cordero y, por lo tanto, el área de la imagen cenital.

Se llevó a cabo un cribado para descartar los fotogramas en los que: el cordero no estaba presente, el cordero no estaba completamente dentro de los límites de la fotografía, aparecían varios corderos en la misma imagen, el punto de vista de la cámara era lateral en lugar de cenital, o las paredes y vallas interfieren y se detectan erróneamente como parte del animal.

Mientras LambScan utilizaba la imagen de profundidad de la cámara 3D, en LambTrack solo se utilizaron imágenes 2D ya que la cámara del dispositivo de uso final, en este caso, un móvil, no suele poder capturar la profundidad de la escena. En este caso, se realizaron las mismas operaciones morfológicas que permitiesen aislar al cordero, eliminando la suciedad de la imagen y los corderos que se salían de la imagen o no estaban completos.

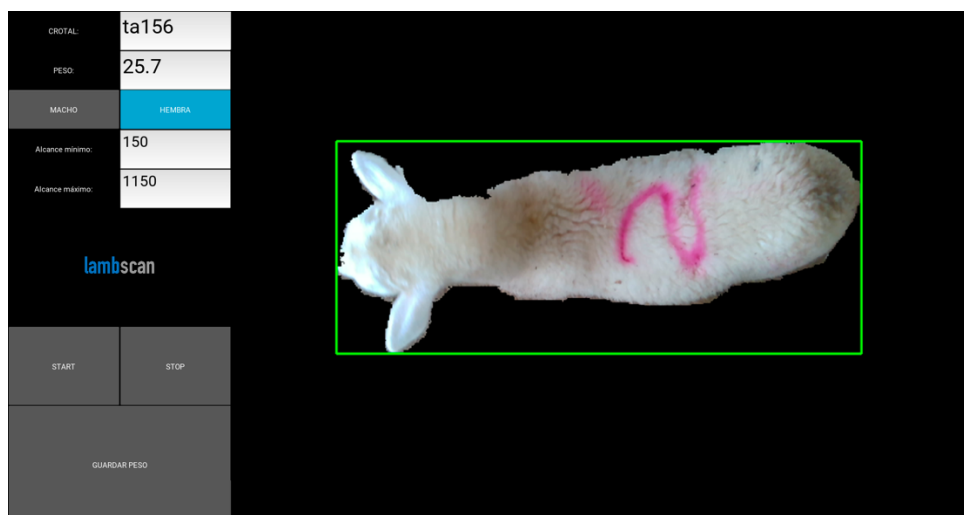
De las imágenes procesadas también se cribaron aquellas en las que el cordero no estaba presente, el cordero se presentaba en posición elevada o subido en las paredes y aquellas en las que aparecían partes del operario.

Por último, se utilizaron todas las imágenes obtenidas, más de 300.000, para entrenar la red neuronal GoogLeNet (Inception v1) (Szegedy et al., 2015), que permita identificar al cordero y predecir el peso de este mediante una imagen cenital 2D y una altura conocida (mediante calibración previa).

4. Resultados

Como se comenta en su investigación el dispositivo final que se plantea en LambScan tiene los elementos mencionados en el anterior apartado que permitía al usuario poder pesar el cordero mediante imágenes 3D cenitales. En la figura 4 se puede observar la interfaz del software. Esta consistía en una zona de interacción en la parte izquierda donde se podían manipular el crotal y el sexo del cordero y se visualizaba el peso en tiempo. En la parte derecha hay una zona de visualización de la imagen con un feedback de que es lo que el dispositivo está captando. Por último, en la parte inferior izquierda se encontraban los tres botones que permitían reiniciar el peso, parar de pesar o guardar el peso.

Figura 4: Interfaz de LambScan



Este dispositivo cumplía las especificaciones del proyecto, pero no conseguía ser un dispositivo útil y cómodo para su uso habitual en el entorno y situación del ganadero.

Para solventar estas limitaciones, se desarrolla Lambtrack. La forma de hacer más accesible y cómodo de utilizar es desarrollar la idea en un dispositivo móvil, de forma que cualquier ganadero pueda acceder a él y sea más manejable. Sin embargo, si se quiere hacer una aplicación que funcione correctamente en la mayoría de los móviles, es necesario entrenar la red neuronal con imágenes 2D, ya que hay muchos móviles que hoy en día no disponen de cámara de profundidad.

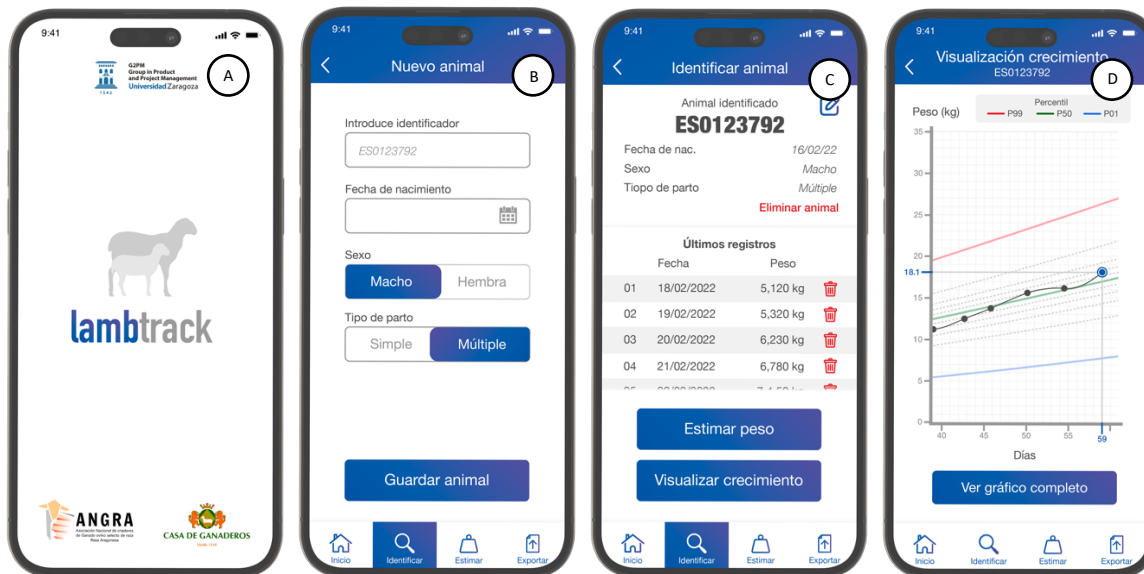
Por otro lado, la mayor diferencia entre las dos aplicaciones es la ampliación de funcionalidades que aporta LambTrack respecto a su antecesor. LambTrack, incorpora la posibilidad de tener una base de datos de los corderos de la ganadería, así como un perfil de cada cordero con su fecha de nacimiento, sexo y tipo de parto y donde se van guardando los pesos captados con la aplicación. Además, también dispone de una herramienta que permite

visualizar el crecimiento del cordero comparándolo con los percentiles de su mismo tipo de sexo y tipo de parto (Figura 5).

El resultado final, como se puede ver en la figura 5, es una aplicación sencilla y accesible para que su uso sea fácil en el campo, entorno habitual del ganadero. Además, para mejorar la precisión, el usuario puede calibrar la altura a la que habitualmente tomará las pesadas.

Actualmente, la aplicación se encuentra en las fases finales del desarrollo perfeccionando el entrenamiento de la red neuronal para mejorar la precisión del modelo de precisión.

Figura 5: Interfaz de LambTrack



Nota: A- Portada. B- Añadir nuevo animal; campos para rellenar el crotal, fecha de nacimiento, sexo y tipo de parto. C- Perfil del animal; contiene los datos del cordero y las pesadas. D- Visualización de crecimiento; se visualizan las pesadas en comparación con la gráfica correspondiente entre sexo y parto.

Otro punto importante a tener en cuenta en ambos proyectos es la precisión que tienen los algoritmos respecto a estudios similares. En ese caso, y teniendo cuenta que LambTrack es un proyecto en ejecución actualmente, solo podemos fijarnos en el resultado final de la precisión de LambScan. LambScan tiene un error medio absoluto relativo (MRAE) en la precisión de 6 %, lo que compite con otros modelos de precisión de otros sectores que están entorno al 5 – 7% como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Comparativa de precisión entre otros estudios

Comparación de MRAE	
Estudios analizados	MRAE (%)
Samperio et al. (2021)	6
Wang et al. (2006) ¹	6
Song et al. (2014) ¹	6.5
Nir et al. (2018) ¹	5.598

MRAE = Mean Relative Absolute Error;
¹ Los estudios analizados tienen conjuntos de datos diferentes

En el caso de LambTrack, la precisión actual del modelo, esta cercana al 6% que tenía LambScan, sin embargo, todavía se está perfeccionando el entrenamiento del modelo, con resultados prometedores, pudiendo mejorar ese resultado en corderos con el peso entre los valores de la denominación de origen “Ternasco de Aragón”

5. Conclusiones

El peso es un factor importante dentro de la ganadería. Como se ha visto, es un elemento que permite detectar si el animal tiene algún tipo de enfermedad, si el crecimiento es adecuado o incluso repercute económicamente en el ganadero.

Ambos proyectos descritos en este estudio aportan una nueva herramienta para el ganadero que ayudan al desarrollo del sector ovino en Aragón. El sector ovino no puede competir en nivel tecnológico con otros sectores como el vacuno y el porcino debido a las características y la economía del sector. En este sentido es importante aportar soluciones y alternativas que permitan tecnificar el sector que no supongan otra dificultad económica al ganadero. Ambos proyectos, además de ayudan en estos sentidos, colaboran en la ganancia económica del ganadero, ya que le permite ganar precisión en el peso de sacrificio del cordero respecto a los medios tradicionales y por lo tanto ajustar la ganancia económica.

Además, la precisión de LambScan mejora a los métodos utilizados actualmente en el sector ovino. Esto hace pensar que la precisión en el algoritmo de LambTrack se puede asemejar a su antecesor, mejorando la manejabilidad del dispositivo y añadiendo funciones de seguimiento de peso que LambScan no tenía.

Futuro y limitaciones

Para que la toma de datos fuese exitosa, era necesario tener al cordero aislado para poder capturar imágenes de un cordero solo. Este es un proceso muy difícil ya que el cordero es un animal muy nervioso que tiende a estar en grupo. La toma de datos de LambScan, se realizó metiendo dos corderos en un corral pequeño para que estuviesen más tranquilos, sin embargo, había pocos momentos en los que se separaran, lo que hizo tener que desechar la mayoría de las imágenes capturadas. Por esta razón para la toma de datos de LambTrack se realizó un set de grabación como el que se ve en la figura 3, que permitía meter a un cordero solo y que estuviese significativamente más tranquilo ya que no veía ningún de su especie. Aún así, los sonidos de otros corderos y la interacción humana hacían que el cordero intentase saltar y salir del set, provocando imágenes fallidas.

LambTrack ha mejorado a su antecesor en cuanto a comodidad, manejabilidad, portabilidad y facilidad de uso, y lo ha hecho en un dispositivo que cualquier ganadero tiene hoy en día y de forma gratuita. A nivel técnico, se está trabajando para conseguir la misma precisión con imagen 2D y con un dispositivo que tiene una capacidad de procesamiento menor. A pesar de ello no se ha podido aislar el peso de un cordero cuando en la imagen aparecen dos corderos juntos o incluso con partes del cuerpo interfiriendo en el cuerpo del otro cordero. Esto es un problema ya que los corderos son un animal gregario que nunca o casi nunca se encuentra solo. Para solventar este problema y facilitar aún más la captura al ganadero se deberían tomar datos de grupos de corderos juntos o en posiciones de interferencia entre ellos.

6. Referencias

- Adzitey, F. (2011). Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality. *International Food Research Journal*, 18(2), 485–491.
- Alsahaf, A., Azzopardi, G., Ducro, B., Hanenberg, E., Veerkamp, R. F., & Petkov, N. (2019).

- Estimation of Muscle Scores of Live Pigs Using a Kinect Camera. *IEEE Access*, 7, 52238–52245. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2910986>
- Brown, D. J., Savage, D. B., Hinch, G. N., & Hatcher, S. (2015). Monitoring liveweight in sheep is a valuable management strategy: A review of available technologies. *Animal Production Science*, 55(4), 427–436. <https://doi.org/10.1071/AN13274>
- Byrne, D. T., Esmonde, H., Berry, D. P., McGovern, F., Creighton, P., & McHugh, N. (2019). Sheep lameness detection from individual hoof load. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158(August 2018), 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.048>
- Ferguson, D. M., & Warner, R. D. (2008). Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80(1), 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.004>
- González-Yebra, Aguilar, M. A., & Aguilar, F. J. (2019). Is the design a vector to be considered in the agri-food industry? An interprofessional analysis in andalusia (Spain). *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 610–621. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12346-8_59
- Greenwood, P. L., Hunt, a S., Hermanson, J. W., & Bell, a W. (1998). Effects of birth weight and postnatal nutrition on neonatal sheep: I. Body growth and composition, and some aspects of energetic efficiency The online version of this article, along with updated information and services, is located on the World Wide. *Journal of Animal Science*, February 2016, 2354–2367. <https://doi.org/doi:/2000.78150x>
- Hatcher, S., Eppleston, J., Graham, R. P., McDonald, J., Schlunke, S., Watt, B., & Thornberry, K. J. (2008). Higher weaning weight improves postweaning growth and survival in young Merino sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(7), 966–973. <https://doi.org/10.1071/EA07407>
- Jones, A., Van Burgel, A. J., Behrendt, R., Curnow, M., Gordon, D. J., Oldham, C. M., Rose, I. J., & Thompson, A. N. (2011). Evaluation of the impact of Lifetimewool on sheep producers. *Animal Production Science*, 51(9), 857–865. <https://doi.org/10.1071/EA08303>
- Kuzuhara, Y., Kawamura, K., Yoshitoshi, R., Tamaki, T., Sugai, S., Ikegami, M., Kurokawa, Y., Obitsu, T., Okita, M., Sugino, T., & Yasuda, T. (2015). A preliminarily study for predicting body weight and milk properties in lactating Holstein cows using a three-dimensional camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 111, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.020>
- Le Cozler, Y., Allain, C., Caillot, A., Delouard, J. M., Delattre, L., Luginbuhl, T., & Faverdin, P. (2019). High-precision scanning system for complete 3D cow body shape imaging and analysis of morphological traits. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157(July 2018), 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.019>
- Li, B., Liu, L., Shen, M., Sun, Y., & Lu, M. (2019). Group-housed pig detection in video surveillance of overhead views using multi-feature template matching. *Biosystems Engineering*, 181, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.018>
- Monteiro, A. N. T. R., Bertol, T. M., de Oliveira, P. A. V., Dourmad, J. Y., Coldebella, A., & Kessler, A. M. (2017). The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. *Livestock Science*, 198(February), 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.014>
- Nir, O., Parmet, Y., Werner, D., Adin, G., & Halachmi, I. (2018). 3D Computer-vision system for automatically estimating heifer height and body mass. *Biosystems Engineering*, 173, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.014>

- Samperio, E., Lidón, I., Rebollar, R., Castejón-Limas, M., & Álvarez-Aparicio, C. (2021). Lambs' live weight estimation using 3D images. *Animal*, 15(5), 100212. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100212>
- Song, X., Schutte, J., van der Tol, P., van Halsema, F., & Groot Koer-kamp, P. (2014). Body measurements of dairy calf using a 3-D camera in an automatic feeding system. *International Conference of Agricultural Engineering - AgEng 2014 - Zurich*, 8.
- Stajanko, D., Brus, M., & Hočevár, M. (2008). Estimation of bull live weight through thermographically measured body dimensions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2), 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.12.002>
- Tasdemir, S., Urkmez, A., & Inal, S. (2011). Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(2), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.001>
- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*, 650, 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Van Der Walt, S., Schönberger, J. L., Nunez-Iglesias, J., Boulogne, F., Warner, J. D., Yager, N., Gouillart, E., & Yu, T. (2014). Scikit-image: Image processing in python. *PeerJ*, 2014(1), 1–18. <https://doi.org/10.7717/peerj.453>
- Vranken, E., & Berckmans, D. (2017). Precision livestock farming for pigs. *Animal Frontiers*, 7(1), 32–37. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>
- Wang, Y., Yang, W., Winter, P., & Walker, L. (2008). Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network. *Biosystems Engineering*, 100(1), 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.08.008>
- Wang, Yongsheng, Yang, W., Winter, P., & Walker, L. T. (2006). Non-contact sensing of hog weights by machine vision. In *Applied Engineering in Agriculture* (Vol. 22, Issue 4, pp. 577–582).
- Zhang, G., Bjerg, B., & Zong, C. (2017). Partial pit exhaust improves indoor air quality and effectiveness of air cleaning in livestock housing: A review. *Applied Engineering in Agriculture*, 33(2), 243–256. <https://doi.org/10.13031/aea.11751>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

