



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Titulación
Máster en Ingeniería Agronómica

Análisis del estado actual de las
tecnologías de sensorización inalámbrica
aplicadas a la gestión eficiente de rebaños
de vacuno de carne en extensivo

Alumna: Sara Montero Hernández
Tutor: Jesús Ángel Baró de la Fuente

Junio de 2019

Copia para el tutor/a

Índice del contenido

1. RESUMEN	6
2. ANTECEDENTES	8
2.1. INTRODUCCIÓN AL SECTOR	8
2.1.1. IMPORTANCIA DEL VACUNO DE CARNE.....	9
2.1.2. MODELO DE PRODUCCIÓN Y MANEJO	23
2.1.3. ANÁLISIS DE SITUACIÓN	28
2.2. ESTADO ACTUAL DE LA SENSORIZACIÓN ANIMAL	32
2.2.1. NUEVOS SENSORES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS	33
2.2.2. LEGISLACIÓN	84
3. OBJETIVOS	86
4. MATERIALES Y MÉTODOS	87
4.1. VARIABLES FISIOLÓGICAS PARA MONITORIZACIÓN ANIMAL	87
4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE TRABAJO.....	89
4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL EMPLEADO.....	89
4.2.2. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA	91
4.3. METODOLOGÍA.....	95
5. RESULTADOS	104
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	107
7. BIBLIOGRAFÍA	111

Índice de figuras

Figura 1: Censo de vacas nodrizas por comunidades autónomas (SITRAN 2018).....	10
Figura 2: Distribución provincial del censo de vacas nodrizas, 2017	11
Figura 3: Evolución del número de explotaciones de cebo, producción de carne y producción mixta	12
Figura 4: Evolución de la producción de carne de vacuno en España.....	12
Figura 5: Distribución de la producción de carne de vacuno por CCAA	13
Figura 6: Producción de carne de vacuno IGP (toneladas).....	14
Figura 7: Producción de carne de vacuno ecológica (toneladas).....	15
Figura 8: Consumo de carne de vacuno fresca en los hogares (toneladas).....	16
Figura 9: Consumo aparente “per cápita” y abastecimiento de carne de vacuno.....	16
Figura 10: Evolución de los precios por categorías.....	18
Figura 11: Evolución de los precios de animales vivos por categorías	18
Figura 12: Márgenes del cebo de pasteros y pasteras (€/100kg equivalente de canal).....	19
Figura 13: Evolución de las exportaciones de carne y despojos de vacuno (toneladas)....	20
Figura 14: Evolución de las exportaciones de bovino vivo (toneladas).....	21
Figura 15: Evolución de las importaciones de carne y animales vivos (toneladas).	22
Figura 16: Valor de la producción de carne de vacuno en la UE	23
Figura 17: Estación de alimentación para vacas y Collar de identificación individual	37
Figura 18: Estación de alimentación para terneros	38
Figura 19: Detector de mastitis 4Q	40
Figura 20: Detector de mastitis 4x4Q.....	40
Figura 21: Cell counter DCC	41
Figura 22: Contador de células online OCC	41
Figura 23: Termómetro líquido	43
Figura 24: Termómetro digital	43
Figura 25: Termómetro digital con sonda	44
Figura 26: Termómetro infrarrojos	44
Figura 27: Cámara térmica EC060	46
Figura 28: Cámara térmica AC080V	46
Figura 29: Cámara termográfica Seek Compact XR	46
Figura 30: Termobolo San'Phone	48
Figura 31: Bolo veterinario de pH ruminal Moonsyst.....	48
Figura 32: Bolo veterinario de pH ruminal telemétrico smaXtec	48
Figura 33: Bolo veterinario de temperatura y pH eBolus (eCow)	49
Figura 34: Fonendoscopio o estetoscopio tradicional	49
Figura 35: Estetoscopio electrónico	50
Figura 36: Collar de rumia y de actividad Alta Cow Watch.....	51
Figura 37: Collar de rumia y de actividad Moo Monitor+	51
Figura 38: Collar de rumia y de actividad Afimilk Silent Herdsman.....	52

Figura 39: Tecnología Tags SCR Heatime HR-LD (SCR by Allflex)	52
Figura 40: Etiqueta Quantified AG	53
Figura 41: e-píldora Vital Herd	53
Figura 42: Dispositivo Smartbow	53
Figura 43: Dispositivo subcutáneo EmbediVet	54
Figura 44: Chip de producción colocado en la oreja del animal	55
Figura 45: Etiqueta TekSensor.....	55
Figura 46: Podómetros AfiTag	57
Figura 47: Podómetro Legend y Sistema de recepción.....	57
Figura 48: Ecógrafo ProScan Bovino y Teclado.....	60
Figura 49: Ecógrafo veterinario portátil Draminski iScan.....	60
Figura 50: Ecógrafo portátil Draminski 4Vet mini.....	61
Figura 51: Detector de estro vacuno Draminski.....	61
Figura 52: Celotor; Cinturón lector	62
Figura 53: Sistema Moocall Heat; Collar y señales auriculares	62
Figura 54: Base Medria y Termómetro vaginal Vel'Phone	63
Figura 55: Sistema Moocall Calving Sensor	64
Figura 56: Sistema SmartVel	64
Figura 57: Sistema Alert'Vel.....	65
Figura 58: Diagrama de bloques de los componentes de un GPS	67
Figura 59: Localizador GPS para vacas	68
Figura 60: Dispositivo GPS solar para ganado.....	68
Figura 61: Dispositivo GPS	69
Figura 62: Crotales electrónicos (HDX ULTRA Highperformance ISO y FDX ULTRA Lightweight ISO).....	71
Figura 63: Bolo intrarruminal de identificación electrónica	71
Figura 64: Uso de un dron en ganadería	72
Figura 65: Altímetro para la medición del pasto	74
Figura 66: Pasture reader acoplado a una segadora	74
Figura 67: Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS).....	75
Figura 68: Pasture robot.....	76
Figura 69: Proceso de funcionamiento del robot	77
Figura 70: Biosensor óptico de tecnología microelectrónica	79
Figura 71: Configuración del sistema tecnológico	82
Figura 72: Imagen 3D sin procesar (izq.) e imagen procesada (drcha.)	82
Figura 73: Metodología del sistema de monitoreo del movimiento y actividad neuronal....	83
Figura 74: Manga de manejo hidráulica.....	91
Figura 75: Medición de la temperatura corporal por vía rectal	93
Figura 76: Zona de medición cardíaca y medición con fonendoscopio	93
Figura 77: Zona de medición respiratoria	94
Figura 78: Temperatura rectal en novillas (Horario mañana y horario tarde)	104

Figura 79: Ritmo cardíaco en novillas (Horario mañana y horario tarde).....	104
Figura 80: Frecuencia respiratoria en novillas (Horario mañana y horario tarde).....	105
Figura 81: Temperatura rectal en vacas (Horario mañana y horario tarde).....	105
Figura 82: Ritmo cardíaco en vacas (Horario mañana y horario tarde).....	106
Figura 83: Frecuencia respiratoria en vacas (Horario mañana y horario tarde).....	106

Índice de tablas

Tabla 1: Precios de las canales y de animales vivos por categorías	17
Tabla 2: Valores normales de temperatura corporal en bovinos adultos y jóvenes.....	87
Tabla 3: Valores normales de frecuencia cardíaca en bovinos adultos y jóvenes.....	88
Tabla 4: Valores normales de frecuencia respiratoria en bovinos adultos y jóvenes	89
Tabla 5: Novillas y vacas seleccionadas para la medición.....	92

1. RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo establecer una visión de las tecnologías de sensorización animal aplicadas en explotaciones de vacuno para conseguir una gestión más eficiente que ayude a conocer y mejorar el estado sanitario de los animales, mejorar los índices de fertilidad y prolificidad, optimizar la gestión y control de la producción animal en tiempo real y mejorar la eficiencia económica de las explotaciones.

Inicialmente se establece la importancia del vacuno de carne como sector en la producción ganadera de España, en cuanto a censos de número de cabezas y de explotaciones, producción, consumo de carne, precios en el mercado y comercio exterior a través de las exportaciones y las importaciones, así como la importancia del sistema ganadero en extensivo a través de los tres modelos de producción más característicos de vacas nodrizas (Dehesa, España Húmeda y Montaña) y su manejo en relación a la base animal, la alimentación, la reproducción y la producción. Una vez establecida dicha importancia se procede a la realización de un análisis de la situación actual para proporcionar tanto las ventajas competitivas como los aspectos menos competitivos de este sector, mediante un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades).

Posteriormente, se realiza un estudio de la incorporación de tecnologías de tipo “Ganadería de precisión” o “Ganadería 4.0”; es decir, de las nuevas tecnologías y nuevos sensores disponibles en la actualidad para el manejo y la gestión de rebaños ganaderos de vacuno, como son; los sistemas de alimentación de precisión, sistemas de medición de leche (medidores de flujo, contadores de células somáticas), sistemas de monitorización de las variables fisiológicas de temperatura animal, ritmo cardíaco, frecuencia respiratoria y movimiento ruminal (termómetros, cámaras termográficas, termobolos, fonendoscopios, collares de rumia y actividad y otros sistemas), sensores de actividad (podómetros), sistemas en el manejo de la reproducción (ecógrafos, detectores de celo y parto), sistemas de localización mediante geoposicionamiento, sistemas de identificación electrónica (crotales electrónicos y bolos intrarruminales), sistema de monitoreo con drones, sistemas de gestión de pastos (altímetros, lector de pasto, robot de pasto y espectroscopia por infrarrojo cercano), sistemas de gestión de explotaciones mediante aplicaciones, sistemas de monitoreo de la condición corporal y movimiento (como la cámara Kinect) y sistemas de monitoreo del movimiento y actividad neuronal. En el estudio de dichos sistemas tecnológicos se ha expuesto su fundamento o funcionamiento, ejemplos existentes en el mercado y su finalidad en la gestión eficiente de explotaciones.

La mayor parte de estas tecnologías y sensores se basan en la telemetría, es decir son sistemas tecnológicos que permiten realizar mediciones remotas de magnitudes físicas, y posteriormente envían los datos obtenidos de forma inalámbrica a través de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) a sistemas receptores, donde se analizan e interpretan los resultados obtenidos.

También se tiene en cuenta la legislación en cuanto a los requisitos de trazabilidad, según lo establecido en la normativa europea y en la normativa española, y los instrumentos que la integran, es decir los sistemas de identificación y los distintos

registros, los cuales permiten realizar un seguimiento de los animales desde su nacimiento hasta su sacrificio para garantizar la seguridad alimentaria tanto en las personas como en los animales.

Una vez establecido el estudio detallado de las distintas tecnologías y sensores se procede a explicar las variables fisiológicas a monitorizar, junto con el material empleado y su protocolo de medida, y la metodología del Proyecto CIVEX en el que se integra este estudio y en el que he participado como investigadora durante las prácticas de empresa.

Tras el estudio de los resultados se puede establecer que el procedimiento de medida realizado en esta fase preliminar del proyecto no ha proporcionado suficiente información, porque no se disponía de equipo más eficiente para la toma de muestras de las variables fisiológicas. Por otra parte, el intervalo entre mediciones no ha permitido la obtención de resultados más precisos para la detección de posibles situaciones de enfermedad o parto.

2. ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCIÓN AL SECTOR

En general, el sector ganadero en España¹ ha experimentado un importante cambio, debido sobre todo al aumento en el consumo y su desplazamiento de unos productos a otros, la variación en el número y tamaño de las explotaciones, el cambio de los sistemas de producción, los cambios de las técnicas de producción, el desarrollo de la ganadería extensiva, etc.

Su evolución desde el final de la Guerra Civil hasta los últimos años de la década de los 50 se caracterizó por un período de recuperación de la actividad, y debido a la situación de postguerra no existía el comercio exterior. En la década de los 40 la política triguera tuvo una gran importancia para el desarrollo ganadero, en la que se marginó totalmente el cultivo de cereales secundario, manteniéndose esta situación hasta mediados de los años 50. En 1952 se comenzó a importar algunos productos básicos y medios de producción como la maquinaria, que supuso el incremento de las producciones agrícolas solamente para el consumo humano y las plantas industriales, y no para la alimentación animal. Sin embargo, la cabaña ganadera se encontraba en niveles inferiores a los existentes.

La década de los 60 se caracterizó por un fuerte crecimiento económico debido al aumento de la demanda de los productos ganaderos. Hasta este período la agricultura y la ganadería se consideraba todavía una “agricultura tradicional” fundamentalmente extensiva y basada en la utilización de razas autóctonas, la cual no atendía a las necesidades de demanda, dando lugar a una gran transformación de la producción ganadera y al desarrollo de la agricultura industrializada. Por lo tanto, se inició la denominada crisis de la agricultura tradicional, que supuso para la ganadería vinculada a la tierra la ruptura del sistema policultivo-ganadería y la separación de la producción cárnica y la láctea.

La crisis económica² producida en los años 80, junto con el encarecimiento de las materias primas en alimentación animal, produjo una ralentización en la demanda de los productos ganaderos. Además, la entrada de España en la CEE en 1986 supuso la necesidad de adaptar las estructuras ganaderas, que generó una crisis de las rentas con una disminución de la producción ganadera en la Producción Final Agraria. En general, este período se caracterizó por la especialización de los procesos productivos y la tendencia hacia la integración vertical y la concentración espacial de la producción.

Posteriormente, desde el Ministerio de Agricultura se llevó a cabo una defensa expresa y coherente de la explotación familiar ligada a la tierra a través del establecimiento de medidas como la reforma de las estructuras del vacuno lechero, el apoyo a la ganadería extensiva, la protección y el fomento de razas autóctonas, la ayuda a la ganadería en zonas de montaña y los planes para aumentar las superficies de

¹ Soria, R. y Rodríguez-Zúñiga, M. (1983). *El sector ganadero*.

² Domínguez Martín, R. (2001). *La ganadería española: del franquismo a la CEE. Balance de un sector olvidado*.

cereales y leguminosas para pienso con la finalidad de disminuir el déficit exterior agrario. Además, las actuales exigencias de un producto de calidad diferenciado, debido a la alarma entre los consumidores por los sistemas antinaturales de alimentación animal, están dando lugar a un fomento de la ganadería extensiva como factor de diversificación de la producción, siendo también un factor de estabilidad ecológica y económica en zonas rurales con despoblación.

2.1.1. IMPORTANCIA DEL VACUNO DE CARNE

El sector del vacuno de carne representa un 6% de la Producción de la Rama Agraria de España³, y dentro de las producciones ganaderas, ocupa el cuarto lugar en cuanto a importancia económica (superado por el sector porcino, el sector lácteo y la avicultura en su conjunto). Representa en 2017 aproximadamente el 17,5% de la Producción Final Ganadera⁴, ocupando el tercer lugar tras la carne de porcino que supone un 36,8% y la leche de vaca, oveja y cabra que supone un 15,8%. El valor de la producción de carne ha ido aumentando paulatinamente hasta situarse en 3.283,3 millones de euros en 2017.

Este sector está dividido a su vez en dos subsectores; el subsector de la vaca nodriza y el del vacuno de cebo, los cuales se diferencian por su localización y sistemas de producción.

El subsector de la vaca nodriza en España⁵ implica una gran riqueza desde distintos puntos de vista como son el económico, social y ambiental, debido a que genera empleo en zonas desfavorecidas y con importantes características orográficas, fijando población para favorecer el desarrollo rural de zonas menos productivas y con menos oportunidades laborales. La cría de vacas nodrizas también permite garantizar el abastecimiento al subsector del vacuno de cebo de terneros, el cual tradicionalmente dependía de la importación de animales de otros países.

CENSOS

El censo de vacuno, teniendo en cuenta el vacuno de carne y el vacuno de leche, tuvo su máximo valor en el año 2004 (más de 6,6 millones de cabezas) a partir del cual se produjo un ligero descenso. Sin embargo, en 2014 empezó a aumentar y en los últimos años el censo de vacuno presenta una cierta recuperación, situándose el censo total en enero de 2018 en 6.623.780 animales, con un aumento del 3,9% con respecto al censo total en enero de 2017.

³ *Caracterización del sector vacuno en España, 2016.* Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/caracterizaciondelsectorvacunodecarne2016_tcm30-380407.pdf

⁴ *Situación de mercado. Sector vacuno de carne, 2018.* Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectorial27-09-18situaciondemercadovacuno_tcm30-428261.pdf

⁵ *Estudio del sector español de vacas nodrizas, 2018.* Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/estudionodriza2018nipo_tcm30-109530.pdf

Si nos centramos en el censo de vacas nodrizas (edad comprendida entre 24 meses y 14 años), siendo en la actualidad mayor que el censo de vacuno lechero (858.524 hembras de leche en enero de 2018), destacamos un aumento del 6,8% desde 2014 hasta 2017, con un total 2.001.212 vacas nodrizas. En enero de 2018 dicho censo se situó en 2.213.735 vacas nodrizas, observándose un aumento de 10,62% con respecto al año anterior.

El censo de vacas nodrizas⁶ se encuentra localizado mayoritariamente en 5 comunidades autónomas (Figura 1); Castilla y León representa el 27% del total nacional (589.018 vacas) y es la región donde se ha producido un mayor aumento desde el año 2014. La segunda comunidad en censo y en crecimiento es Extremadura, representando un porcentaje de 22% del total (493.439 vacas), seguida de las comunidades autónomas de Andalucía con un porcentaje de 11% (234.030 vacas), Galicia con un porcentaje de 10% (218.705 vacas) y Asturias con un porcentaje de 7% (158.253 vacas). En general, desde el 2014 ha habido una evolución positiva del censo de vacas nodrizas en dichas comunidades autónomas, con un mayor número de animales.

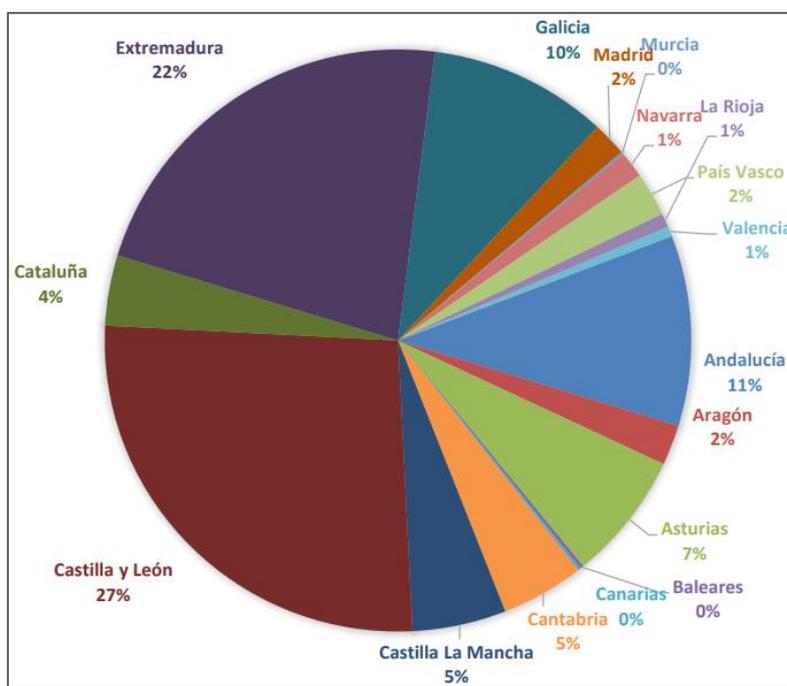


Figura 1: Censo de vacas nodrizas por comunidades autónomas (SITRAN 2018). Fuente: SG de Productos Ganaderos, MAPA.

El mayor número de vacas nodrizas por provincias⁴ se encuentra en Cáceres, Salamanca, Badajoz, Asturias y Lugo, según lo establecido en el mapa de distribución del censo de vacas nodrizas por provincias (Figura 2). Se observa que el vacuno extensivo en España se concentra en el noroeste y el suroeste de la península, es decir en la Cornisa Cantábrica y en la Dehesa, diferenciándose por lo tanto tres sistemas de

⁶ *El sector de la carne de vacuno en cifras. Principales indicadores económicos.* Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/cortointidicadoreseconomicoscarnedevacuno2018_tcm30-381390.pdf

producción; Sistema de producción en la Dehesa, Sistema de producción en la España Húmeda y Sistema de producción en la Montaña.

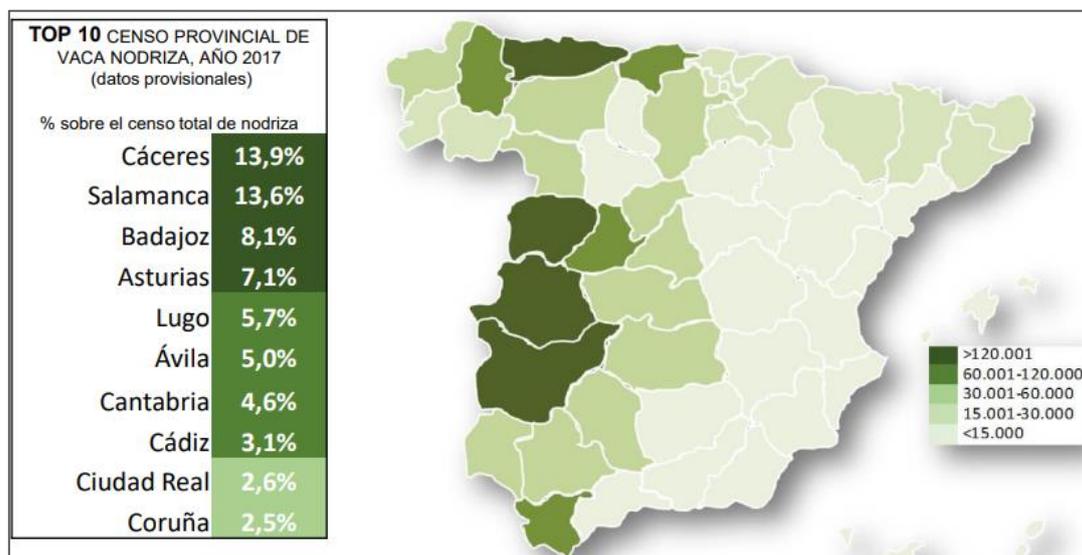


Figura 2: Distribución provincial del censo de vacas nodrizas, 2017. Fuente: SG de Productos Ganaderos, MAPA.

En cuanto a la distribución de las razas⁵ cabe destacar el crecimiento del conjunto mestizo, que supone el 53,2% del total (1.065.420 vacas), de la raza Limusina con el 11,5% (230.628 vacas) y de la raza Asturiana de los Valles con un 6,8% (136.118 vacas). Después le siguen la raza de Lidia (4,2% del total), la Rubia Gallega (4% del total), la Avileña-Negra Ibérica (2,8% del total) y la Charolesa (2,6% del total). También es importante destacar el gran descenso que ha tenido el censo de la raza Retinta, con una disminución de más de 9.500 vacas desde el año 2014 al 2017, teniendo un censo que representa solamente el 2,1% del total.

El número de explotaciones⁶ en este sector ha ido descendiendo en los últimos años, aunque no se corresponde con una caída en los censos. Esto se debe a que se ha ido produciendo una reconversión de las explotaciones de vacuno de leche en explotaciones de vacuno de carne y a la concentración de la producción en núcleos de mayor tamaño. En enero de 2018 el número de explotaciones que estaban dadas de alta en SITRAN (Sistema Integral de Trazabilidad Animal) era de 115.576 explotaciones, en las cuales se incluyen todos los tipos de explotaciones; cebo o cebadero, producción para carne, producción mixta, precebo y recría de novillas. El mayor número de explotaciones se corresponde con el tipo de producción para carne, teniendo en enero de 2018 un total de 88.265 explotaciones, seguida del tipo cebo o cebadero con 20.606 explotaciones y producción mixta con 6.164 explotaciones.

La evolución del número de explotaciones de cebo, producción de carne y producción mixta (Figura 3) ha descendido de forma general en los tres tipos entre 2007 y 2018, produciéndose el mayor descenso en la producción mixta con un -88,4%, seguida del cebo con un -19,4% y de la producción de carne con -16,3%. Sin embargo, se observa que en los últimos años el número de explotaciones se mantienen, e incluso en el caso de las explotaciones de producción para carne se ha producido un ligero

aumento del 2,1% en enero de 2018, con respecto a enero de 2017 (86.412 explotaciones).

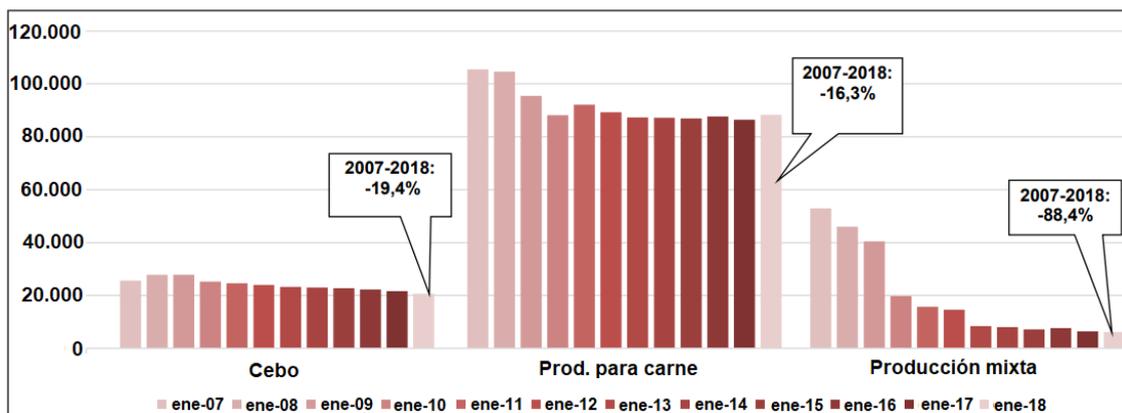


Figura 3: Evolución del número de explotaciones de cebo, producción de carne y producción mixta. Fuente: SG de Productos Ganaderos, MAPA.

PRODUCCIÓN

En cuanto a la producción de carne de vacuno⁴ en España (Figura 4) hay que destacar que en el año 2016 se sacrificaron 2.391.003 cabezas para la obtención de 643.861 toneladas, produciéndose un aumento del 0,7% en cuanto a cabezas sacrificadas y un 1,1% en cuanto a toneladas, con respecto al año anterior.

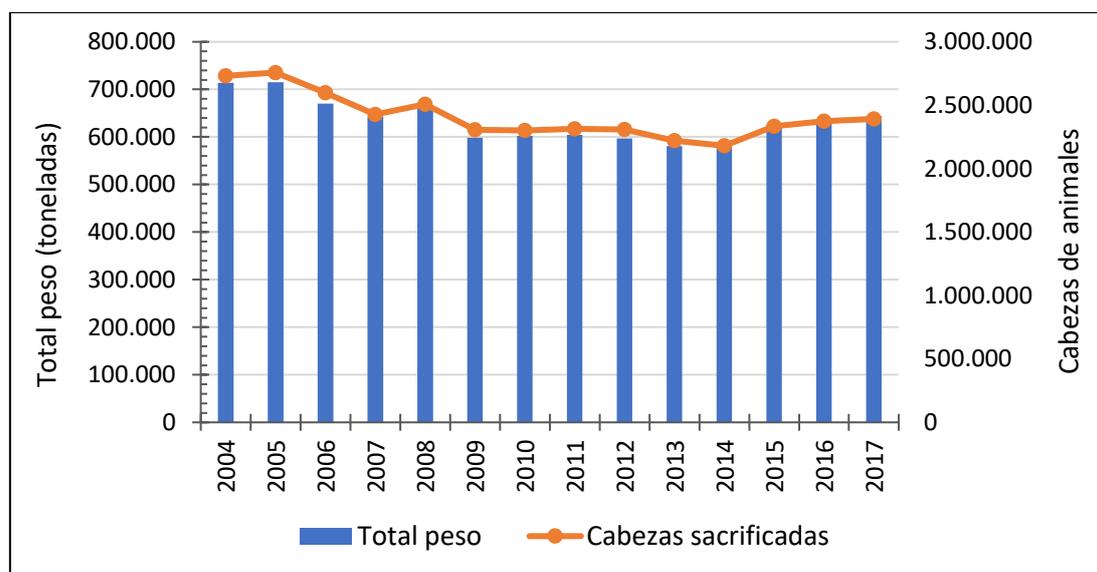


Figura 4: Evolución de la producción de carne de vacuno en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SG de Productos Ganaderos, MAPA.

La distribución de la producción de carne de vacuno por comunidades autónomas⁶ (Figura 5) se concentra principalmente en tres; Cataluña con un 20%, Castilla y León con un 17% y Galicia con un 14%, representado el 51% de los sacrificios totales en nuestro país (según los datos de enero a julio de 2018). El mayor número de sacrificios se produce en estas comunidades porque es donde se encuentra el mayor censo del subsector del vacuno de cebo.

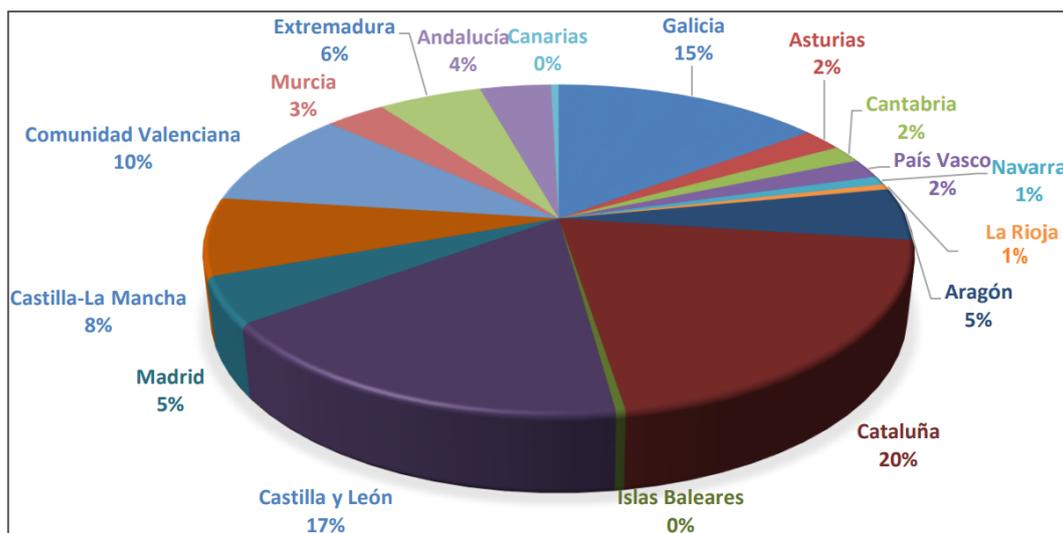


Figura 5: Distribución de la producción de carne de vacuno por CCAA. Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

Si tenemos en cuenta la evolución del sacrificio de las distintas categorías⁷ existentes en el vacuno de carne, como terneros < 8 meses, bovino joven de 8-12 meses, novillas > 12 meses, vacas, y toros y bueyes > 12 meses, cabe destacar un aumento del 21,4% en el sacrificio de novillas en enero-octubre de 2018, con respecto al mismo período del año anterior, y un aumento del 12,4% del sacrificio de toros y bueyes. Seguidas de estas categorías se encuentra la categoría de terneros menores de 8 meses con un aumento del 1,2%. Por el contrario, se produjo una disminución del 2,2% en la categoría de bovino joven 8-12 meses y del 1% en la de vacas. En general, teniendo en cuenta el total de las categorías se produjo un aumento del 5,2% en el sacrificio de animales de vacuno para carne.

También es importante destacar la producción de carne sujeta a denominaciones de calidad y certificaciones ecológicas, debido a que cada vez hay una mayor demanda porque ofrecen al producto un valor añadido.

En España existen 11 IGPs⁸; IGP “Ternera Asturiana”, IGP “Ternera Gallega”, IGP “Carne de Vacuno del País Vasco”, IGP “Carne de la Sierra de Guadarrama”, IGP “Ternera de Extremadura”, IGP “Ternera de Navarra”, IGP “Carne de Cantabria”, IGP “Carne de Ávila”, IGP “Ternera de los Pirineos Catalanes”, IGP “Carne de Salamanca” e IGP “Ternera de Aliste”.

La producción amparada por estas denominaciones de calidad⁴ (Figura 6) fue de 38.487 toneladas en 2016, produciéndose un aumento del 6,1% con respecto al año anterior, y suponiendo un 6% del total de la carne de vacuno producida en nuestro país. Entre las denominaciones mencionadas destaca con mayor producción la IGP “Ternera

⁷ Informe trimestral del sector vacuno de carne, enero 2019. Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/dashboardvacunocarneenero2019_tcm30-381392.pdf

⁸ Listado DOP/IGP de productos agroalimentarios. Fuente: Denominaciones de origen e IGP, MAPA. <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/>

Gallega” representando un 53,8% del total de la carne amparada con denominación IGP, seguida de la IGP “Ternera Asturiana” con un 17,3%.

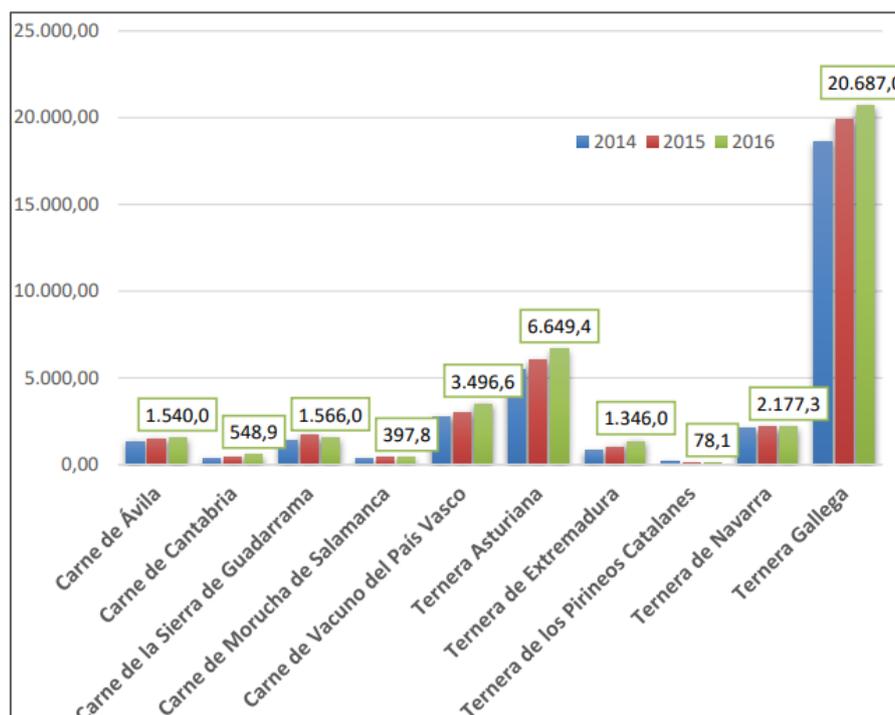


Figura 6: Producción de carne de vacuno IGP (toneladas). Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

En dicha producción de carne de vacuno IGP no está incluida la producida por la IGP “Ternera de Aliste” porque, en el momento que se realizó dicho informe con datos de 2016, se encontraba en proceso de registro para obtener la denominación IGP, siendo hasta entonces una Marca de Garantía. La denominación “Ternera de Aliste⁹” se registró como IGP en enero de 2016.

La primera denominación de calidad reconocida en España es la Denominación Específica “Carne de Avileño¹⁰,” mediante la aprobación de su Reglamento y su Consejo Regulador en 1990. Posteriormente, se modificó dicha denominación por la Denominación Específica “Carne de Ávila”, y en 1996 fue reconocida como IGP por la Unión Europea.

En el caso de la denominación de calidad “Ternera Gallega¹¹”, se ratifica su Reglamento y Consejo Regulador en 1995, y es reconocida como IGP por la Unión Europea en 1996.

⁹ I.G.P. Ternera de Aliste. Fuente: MAPA https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/igp_ternera_de_aliste.aspx

¹⁰ I.G.P. Carne de Ávila. Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/IGP_Carne_Avila.aspx

¹¹ I.G.P. Ternera Gallega. Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/IGP_Ternera_Gallega.aspx

Otra de las primeras denominaciones de calidad que se reconoce en España es la “Carne de Salamanca¹²”, que inicialmente recibe la denominación de “Carne de Morucha de Salamanca” mediante la ratificación de su Reglamento y Consejo Regulador en 1995, y es reconocida en la Unión Europea como IGP en 1996. La actual denominación quedó inscrita en el registro comunitario en enero de 2018.

En cuanto a la carne certificada en ecológico⁴ (Figura 7), en el año 2015 hubo la mayor producción en ecológico con 18.072 toneladas, produciéndose un aumento del 19,8% con respecto al año anterior y suponiendo un 2,9% del total de carne de vacuno. En los años siguientes se observa un descenso de la producción, siendo la producción algo superior a las 16.000 toneladas en 2017, que representa el 2,6% del total de carne vacuno.

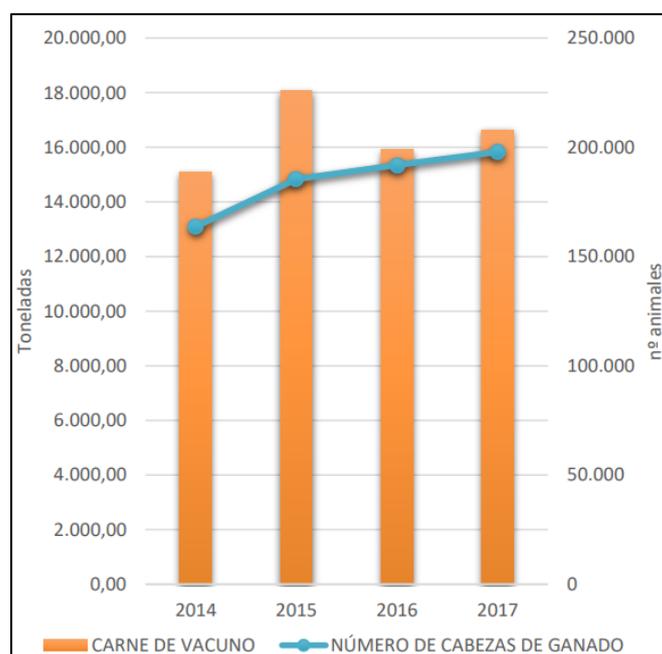


Figura 7: Producción de carne de vacuno ecológica (toneladas). Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

La comunidad autónoma con mayor importancia en producción ecológica de carne de vacuno³ es Andalucía, con un porcentaje del 79,1% del total en este tipo de producción, seguida con un 7,9% en Extremadura.

CONSUMO

El consumo de carne de vacuno en España⁷ ha tenido una evolución descendente según los datos desde 2014 hasta 2018 (Figura 8), produciéndose una disminución en el consumo de 5,6% en el período enero-octubre de 2018, con respecto al mismo período del año anterior. Además, hay que destacar que el consumo de carne de vacuno tiene un carácter estacional, por lo que hay un mayor consumo en los meses fríos y algo menor en los meses cálidos.

¹² I.G.P. Carne de Salamanca. Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/IGP_Carne_Salamanca.aspx

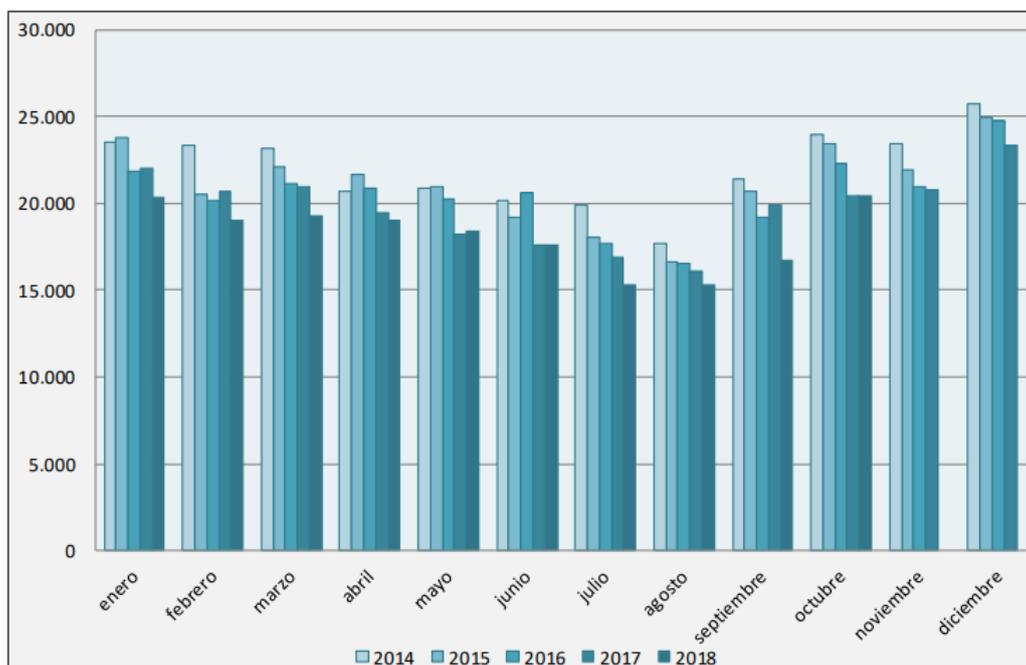


Figura 8: Consumo de carne de vacuno fresca en los hogares (toneladas). Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

El consumo aparente “per cápita⁴” (Figura 9), teniendo en cuenta la producción anual y las importaciones y exportaciones de carne, se situó en 12,7 kg por persona y año en 2017, y el abastecimiento se situó en el 108%, observando el mismo consumo aparente “per cápita” y un ligero aumento en el abastecimiento del 0,4% con respecto al año anterior.

Los factores que pueden influir en el consumo de carne de vacuno, para que se haya producido dicho descenso, son la variación de los hábitos, circunstancias sociológicas y demográficas, y sobre todo la competencia con carne de otras especies ganaderas que tienen precios más bajos.

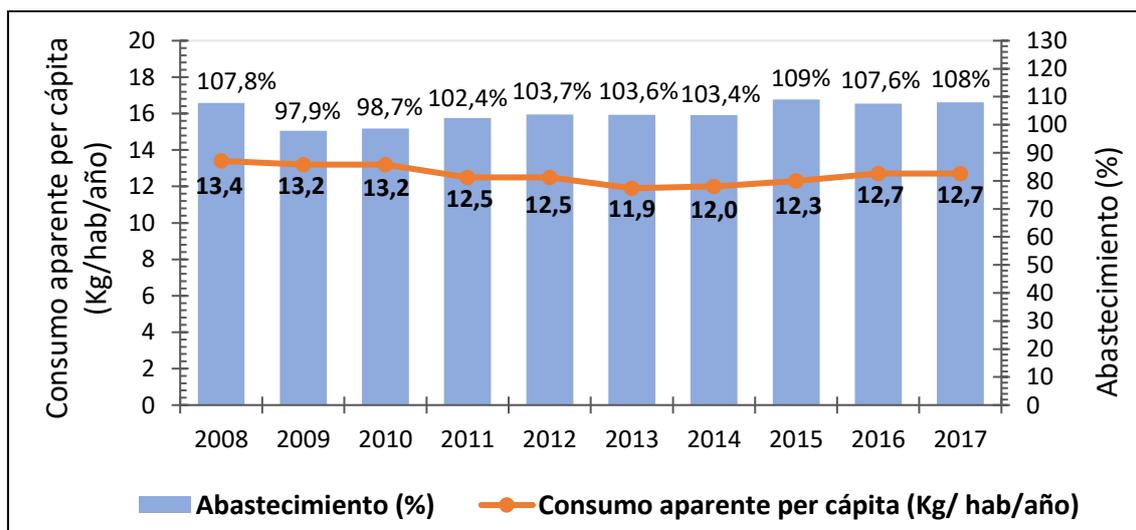


Figura 9: Consumo aparente “per cápita” y abastecimiento de carne de vacuno. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SG Productos Ganaderos, MAPA.

SITUACIÓN DE MERCADO

En la situación de mercado del vacuno de carne³, es decir los precios de las canales por categorías, hay que destacar la crisis de los precios en el sector lácteo, la salida del Reino Unido de la Unión Europea y la exportación a los países de Oriente. El “brexit” no supuso en España una caída muy importante de los precios, como fue el caso en todo el norte y centro de Europa, donde el referéndum devaluó la libra y se produjo una bajada bastante importante en los precios de los machos castrados (en España esta producción no es relevante) que se contagió al resto de categorías.

Los precios del vacuno de carne en España¹³ (según los datos de la semana 1 de 2019) de las canales de bovino por categorías y de los animales vivos por categorías se recogen en la Tabla 1. Se puede observar, en comparación con la misma semana del año anterior, un aumento de precio en las categorías de canales de vacas y novillas de 3,3% y 3,5%, respectivamente, y una disminución del precio de añojo y ternera de 4,76% y 1,4%, respectivamente. En las categorías de animales vivos se observa un aumento del 18,6% en cruzados de menos de un mes y del 8,76% en pasteros de entre 6-12 meses, y una disminución de 0,8% en frisonas de menos de un mes, respecto a la misma semana del año anterior.

Tabla 1: Precios de las canales y de animales vivos por categorías

Categorías canales	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Dif. 19/18 (en%)
Añojo AR3	370,81 €/100kg	392,40 €/100kg	373,74 €/100kg	-4,76%
Vacas DO	202,10 €/100kg	230,89 €/100kg	238,53 €/100kg	3,3%
Novillas ER	374,06 €/100kg	385,92 €/100kg	399,40 €/100kg	3,5%
Ternera ZR	385,75 €/100kg	402,24 €/100kg	396,59 €/100kg	-1,4%
Categorías animales vivos	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Dif. 19/18 (en%)
Frisonas menores de 1 mes	85,00 €/cabeza	83,75 €/cabeza	83,05 €/cabeza	-0,8%
Cruzados menores de 1 mes	217,50 €/cabeza	207,50 €/cabeza	246,11 €/cabeza	18,6%
Pasteros de entre 6-12 meses	239,20 €/100kg	241,44 €/100kg	262,59 €/100kg	8,76%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SG Productos Ganaderos, MAPA.

En la evolución que han tenido los precios en los últimos años de las canales de vacuno por categorías⁷ (Figura 10) se observa que el precio de los añojos ha aumentado de manera prácticamente constante desde junio de 2016 hasta finales de 2017, situándose en diciembre de este año cerca de los 400 €/100kg, y a lo largo de 2018 se ha producido una ligera disminución.

¹³ Informe semanal de precios y mercados. Sector vacuno de carne. Fuente: MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/informevacunosemana15_tcm30-58880.pdf

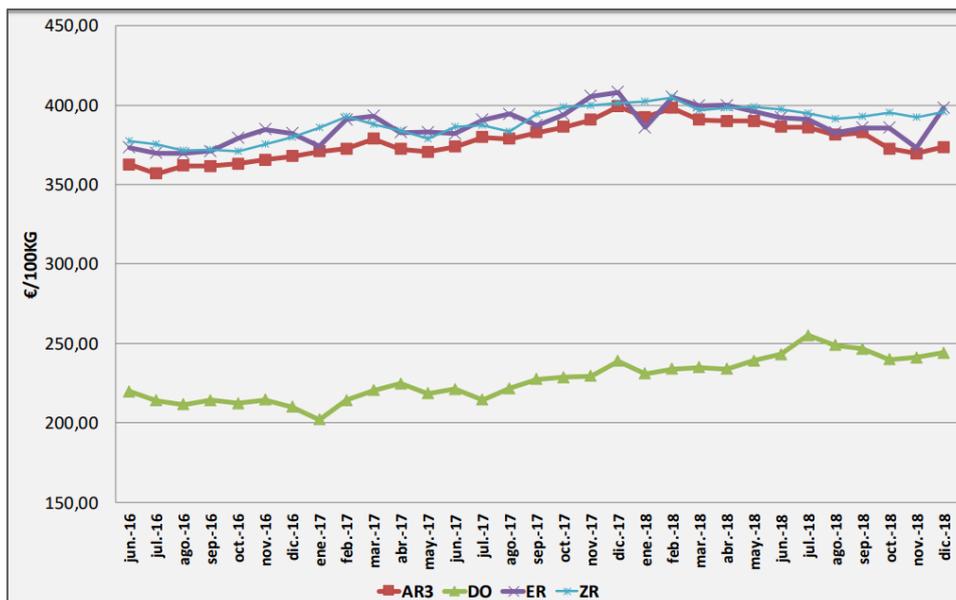


Figura 10: Evolución de los precios por categorías. Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

En el caso de las novillas y las terneras se observa que el precio a lo largo de cada año ha sufrido variaciones, situándose a finales de 2018 cerca de los 400 €/100kg en ambos casos. En cuanto a la categoría de vacas se observa que el precio ha aumentado sobre todo en 2018 con respecto a 2016, alcanzando en julio los 250 €/100kg, y en los meses posteriores ha disminuido ligeramente.

En el caso de la evolución que han tenido los precios de los animales vivos por categorías (Figura 11), en los últimos años se observa una evidente disminución del precio de los cruzados < 1 mes, los cuales alcanzaron en junio de 2016 un precio de 250 €/cabeza.

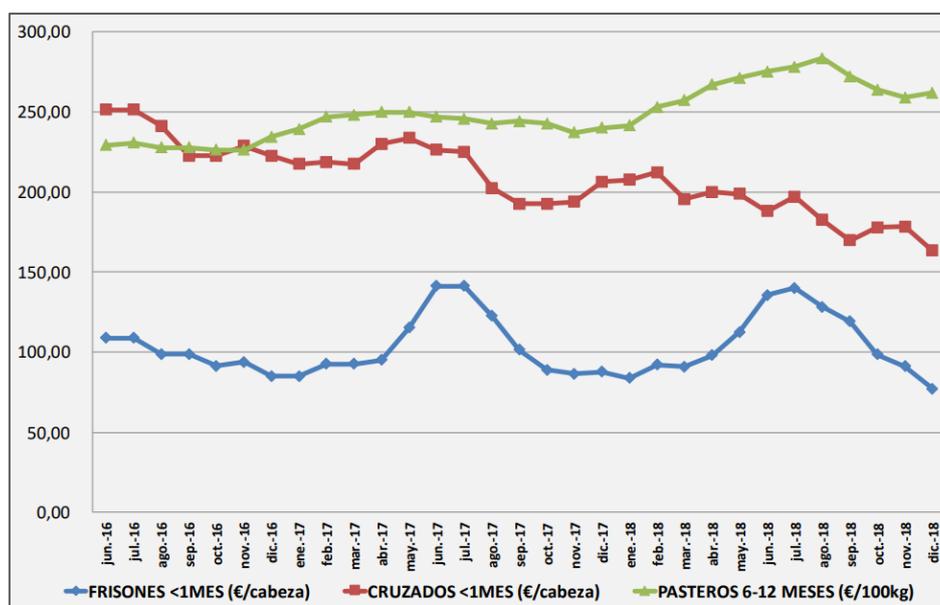


Figura 11: Evolución de los precios de animales vivos por categorías. Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

En el caso de los frisonos < 1 mes se observa un aumento del precio en los meses de mayo a septiembre en 2017 y 2018 que supera los 100 €/cabeza, mientras que en el resto de los meses del año es menor y no llega a dicho precio. Sin embargo, en los pasteros de 6-12 meses se observa que en 2017 el precio se mantuvo más o menos constante, y que a lo largo del año 2018 se ha producido de manera general un aumento del precio, superando los 250 €/100kg.

Si tenemos en cuenta el margen obtenido por los productores en el cebo de los animales, es necesario realizar un cálculo de los costes de alimentación y la compra de los terneros para el cebo, y expresarlos en 100kg de canal de vacuno, para posteriormente compararlo con el precio final al que se ha vendido el añojo o la novilla, también expresado en 100kg de canal. También se tienen en cuenta los datos productivos medios entre machos y hembras sobre ganancia media diaria, período de engorde, índice de conversión, rendimiento de la canal, peso final, etc.

En el gráfico que expresa los márgenes del cebo de pasteros (Figura 12) se puede observar que desde noviembre de 2015 el margen obtenido es superior a la media de los márgenes de 2015-2018, y que a partir de junio de 2017 es cuando más ha aumentado hasta que a principios de 2018 empezó a disminuir, obteniéndose desde entonces los márgenes más bajos. Estos márgenes más bajos en el último año se pueden deber al aumento del precio de compra de los pasteros, que también se puede observar en la Figura 11, y a un mayor precio de las materias primas.

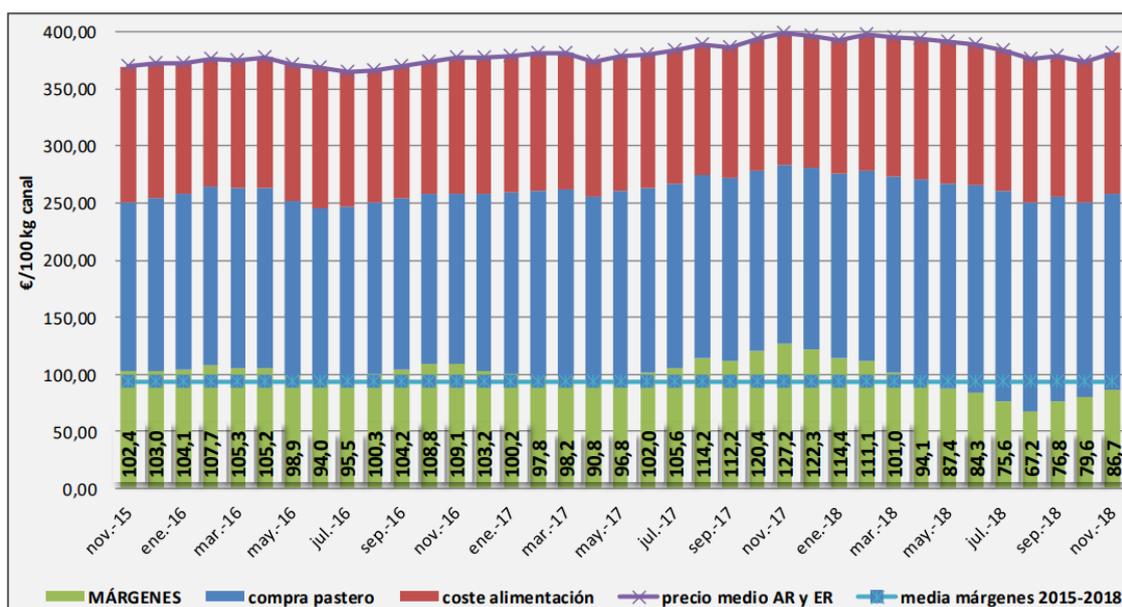


Figura 12: Márgenes del cebo de pasteros y pasteras (€/100kg equivalente de canal). Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

COMERCIO EXTERIOR

La balanza comercial de la carne de vacuno³ siempre ha sido económicamente negativa, teniendo en cuenta todos los productos (animales vivos, carne fresca refrigerada y congelada y despojos), y el valor de las importaciones ha sido mayor al valor de las exportaciones. Actualmente, las exportaciones están equilibrando dicha

balanza, y por lo tanto el comercio de carne de vacuno y la salida de animales vivos están ayudando a que haya una estabilidad del sector y un mantenimiento de los precios a pesar de la disminución del consumo interior de carne de vacuno.

Las exportaciones de carne de vacuno en 2016 fueron del 26,6% (con un valor de 857.946.000€), teniendo en cuenta todos los productos del sector, y supuso un aumento del 0,6% con respecto al año anterior. De entre todos los productos exportados destaca la carne fresca con un 49%, seguida de los animales vivos con un 30%, carne congelada con un 14% y despojos con un 7%.

Los principales destinos de la carne y despojos de vacuno⁷ (Figura 13) son países de la Unión Europea, entre los que destaca Portugal, Francia, Italia y Países Bajos. Otros destinos de menor importancia son países de fuera de la UE, principalmente Argelia y otros como Hong-Kong y Marruecos. Las exportaciones en 2018 tuvieron una disminución de manera generalizada como se puede observar en el gráfico, con respecto al año anterior.

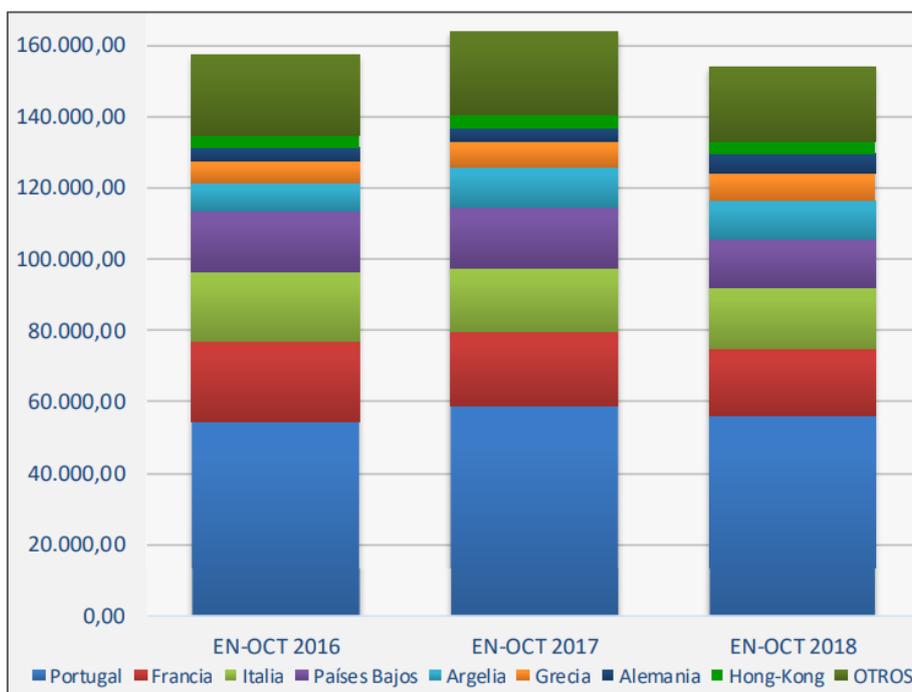


Figura 13: Evolución de las exportaciones de carne y despojos de vacuno (toneladas).
Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

En el caso de las exportaciones de animales vivos se produjo en 2015 un aumento del 47,6%, debido a las exportaciones a terceros países de la cuenca Mediterránea, llegando a alcanzar un máximo histórico, y consolidándose dicho mercado en 2016, aunque disminuyó el número de animales exportados, con un total en ese año de 152.540 animales. Si tenemos en cuenta que categoría de vacuno es la que se comercializa, destacan los animales con un peso de más de 300kg, que suponen el 88% del total, mientras que el resto de las categorías tienen menor importancia con un 12% del total.

Los principales destinos de animales vivos hasta el año 2016 fueron Libia y Líbano, sin embargo, a partir de 2017 Turquía abrió sus mercados a la importación de vacuno de carne procedente de España. Como se puede observar en la evolución de las exportaciones de animales vivo (Figura 14) se ha producido un aumento generalizado en todos los países, siendo en 2018 mayoritarias a Libia, Turquía y Líbano, según el orden de mayor exportación.

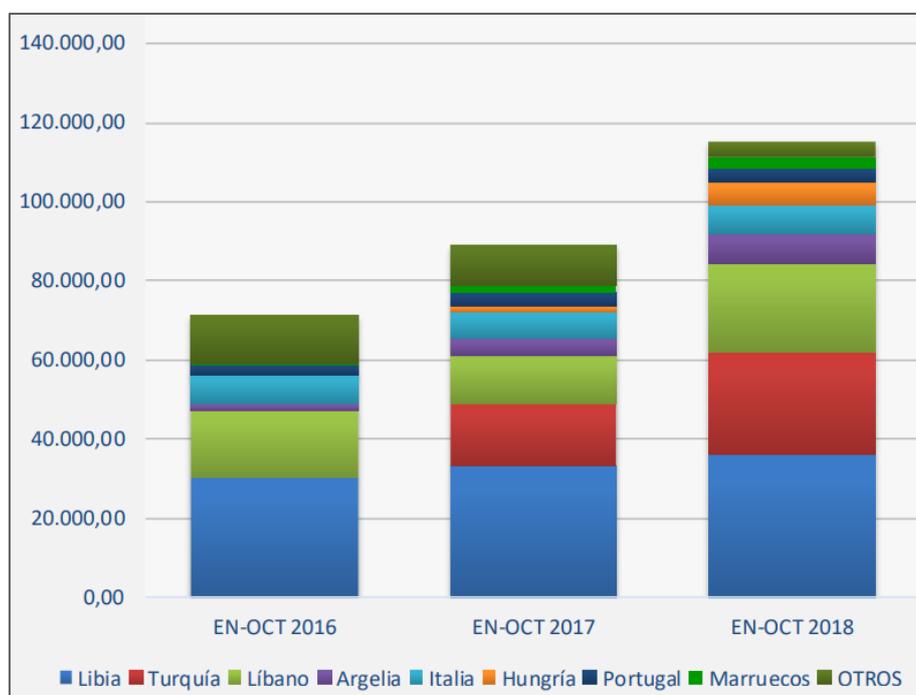


Figura 14: Evolución de las exportaciones de bovino vivo (toneladas). Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

En el caso de Turquía¹⁴, cabe destacar que entre 2010 y 2012 hubo una apertura parcial debido a las intervenciones de las autoridades europeas, para las exportaciones de la UE a Turquía, y que a partir de diciembre de 2012 las exportaciones fueron inexistentes porque Turquía se negó a expedir licencias de importación. Esta negativa se debió al virus de la EEB y Schmallenberg (presentes en el país) y a la enfermedad de la lengua azul. En 2016, gracias a las intervenciones de las autoridades españolas, se incluyó a España en la lista de países con posibilidad de exportar a Turquía carne congelada y fresca, pero sujeta a la autorización de mataderos y un certificado veterinario específico, y con unas exigencias más duras. Desde marzo de 2017, España empezó a formar parte de los países que pueden exportar animales vivos para engorde a Turquía, aunque con la exigencia de distintos certificados en función del tipo de animales y especialmente a los relativos de la enfermedad de la lengua azul, de la cual en la actualidad no existe ningún foco en España.

Las importaciones de carne de vacuno³ en 2016 alcanzaron las 129.756 t, siendo el 89,8% de procedencia comunitaria y el 10,2% de terceros países. Entre los principales

¹⁴ *Prohibición a la Importación de Bovino Vivo y Carne de Vacuno*. Fuente: Barreras al comercio. <http://www.barrerascomerciales.es/es-ES/BuscadorBarreras/Paginas/ImportacionBovinoTurquia.aspx>

países comunitarios de los que se importa destaca Polonia con 25.000 t, seguido de Países Bajos, Alemania e Irlanda, y entre los países extracomunitarios destacan Brasil y Uruguay, con un total entre ambos de 11.622 t.

En el caso de la importación de animales vivos para cebo, la procedencia es exclusivamente de países comunitarios, con un total de 626.131 animales en 2016, y de forma mayoritaria de Francia. Entre estas importaciones destaca el bovino con un peso menor a 80kg que supone el 63% del total, seguido del bovino entre 160-300kg con un 16%, el bovino de 80-160kg con un 8%, los bovinos reproductores con un 7% y el bovino de más de 300kg con un 6%.

La evolución de las importaciones de carne y despojos⁷ (Figura 15) ha disminuido un 1,2% en 2018, con respecto al año anterior, y por el contrario la importación de animales vivos ha aumentado un 8,2%, en el mismo período.

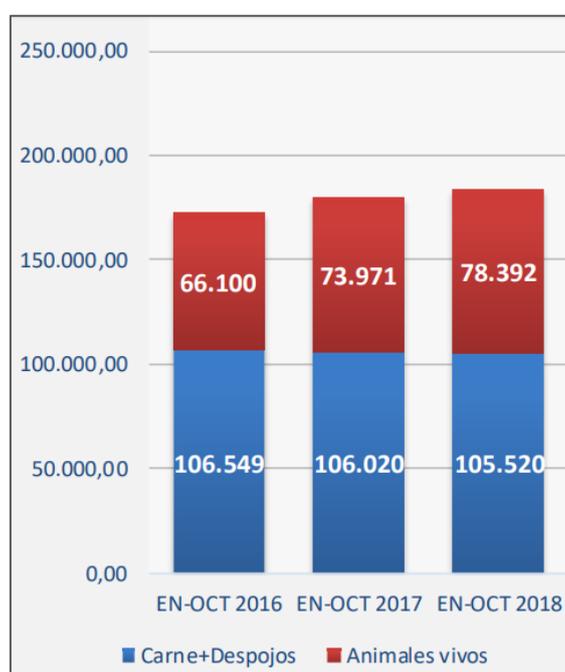


Figura 15: Evolución de las importaciones de carne y animales vivos (toneladas). Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

Con respecto a la situación del vacuno de carne en la Unión Europea⁶, España ocupa el cuarto lugar en importancia productiva (Figura 16), representando el 9% del total y con un valor de la producción de 3.283,26 millones de euros (según datos de 2017). Los países europeos que ocupan los primeros puestos en importancia son Francia, Alemania y Reino Unido, representando el 23%, 13% y 13%, respectivamente.

En términos de producción (toneladas producidas), el mayor productor de la UE es Francia con un 18,5% del total y una producción de 1.442.000 t, seguido de Alemania, Reino Unido e Italia con una producción de 1.124.000 t, 899.000 t y 756.000 t, y con una representación del 14,4%, 11,5% y 9,7% del total, respectivamente. En el quinto lugar se sitúa España representando el 8,2% del total y con una producción de aproximadamente 641.000 t.

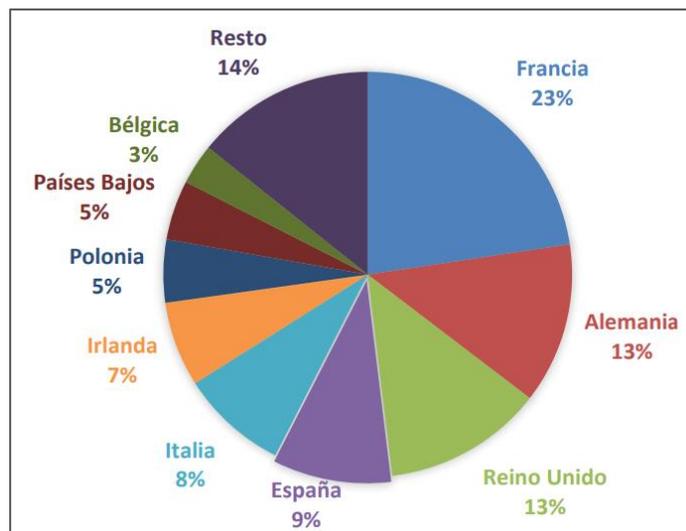


Figura 16: Valor de la producción de carne de vacuno en la UE. Fuente: SG Productos Ganaderos, MAPA.

Hay que tener en cuenta que en estos datos europeos se incluye el valor de producción y la producción en toneladas del Reino Unido y, actualmente se están produciendo las negociaciones de su salida de la UE.

En conclusión, podemos decir que el vacuno de carne es un sector estable que tiene una gran importancia en España, aumentando su producción a pesar de que el consumo ha disminuido en los últimos años, aunque se compensa con las importaciones y las exportaciones.

2.1.2. MODELO DE PRODUCCIÓN Y MANEJO

Los sistemas extensivos de producción ganadera¹⁵ se caracterizan por el empleo de especies ganaderas de interés zootécnico (bovino, ovino, caprino y porcino ibérico), que son capaces de aprovechar los recursos naturales de manera eficiente a través del pastoreo, siendo razas autóctonas que se adaptan a los factores limitantes y ecológicos del medio.

En España estos sistemas se encuentran determinados por factores como la utilización de suelos no aptos para una agricultura convencional y el pastoreo como bases del sistema de explotación. Además, se caracterizan por ser explotaciones ligadas a la tierra que dependen en gran medida de la producción de sus pastos, tener una baja carga ganadera y una inversión en infraestructuras baja.

La ganadería en extensivo realiza una conservación de la productividad ganadera y del paisaje mediante el pastoreo¹⁶. Para conseguir dicha conservación es necesario

¹⁵ Martín Bellido, M., Escribano Sánchez, M., Mesías Díaz, F.J., Rodríguez de Ledesma Vega, A., y Pulido García, F. (2001). *Sistemas extensivos de producción animal*. Archivos de zootecnia vol. 50, núm. 192.

¹⁶ Antuña Menéndez, A. (1999). Capítulo 2: Conservación de la productividad ganadera y el paisaje mediante el pastoreo por el ganado. In: Ángel A. Rodríguez Castañón, ed., *El ganado vacuno del Tronco Castaño*.

realizar un correcto pastoreo que no implique ni sobrepastoreo ni déficit de pastoreo, y se realiza a través de un control de la altura de pasto, siendo para el vacuno una altura adecuada de 5-7 cm, por debajo de la cual el rendimiento ganadero disminuye, y por encima de dicha altura es la calidad del pasto la que disminuye y se produce un desperdicio de masa vegetal. También es conveniente realizar una subdivisión de los pastos en áreas homogéneas para aprovecharse de manera secuencial mediante un pastoreo rotacional. Esto resulta más eficaz con la utilización de razas autóctonas que se adaptan mejor a las condiciones del medio por la rusticidad que presentan, debido a que aprovechan al máximo la vegetación existente y son capaces de mantenerse y criar a los terneros porque sus necesidades nutricionales son menores, y la utilización de estas razas fomenta la diversidad genética del ganado.

Esto permite aprovechar y mantener ecosistemas de elevado valor ambiental porque el ganado disemina las semillas y fertiliza el suelo con sus deyecciones, aumentando con ello la materia orgánica y mejorando la estructura del suelo, y con el pastoreo del ganado también se controla el desarrollo arbustivo, siendo por ello un método eficaz de gestión para la prevención de incendios forestales. Además, puede convivir con la fauna y la flora silvestre como un elemento más de los ecosistemas.

En cuanto a los sistemas ganaderos de vacuno de carne en extensivo es importante destacar su fuerte localización en las zonas de dehesa del suroeste peninsular y en la Cornisa Cantábrica, estableciéndose tres modelos de producción bien diferenciados. Estos modelos de producción se caracterizan principalmente por una producción sostenible, la diversidad de razas, las denominaciones de calidad y la producción y comercialización de carne de animales más jóvenes. Por lo tanto, la producción de carne de vacuno se basa en cuatro pilares¹⁷. fundamentales:

- La Sanidad animal a través de la legislación europea en materia de prevención y lucha contra las enfermedades animales y medidas de bioseguridad en las explotaciones e industrias transformantes para la cría de animales y la producción de carne.
- El Bienestar animal a través del confort, que mejora la vida de los animales para obtener una mayor calidad del producto en la explotación, durante el transporte y en el sacrificio.
- La Sostenibilidad con el medio ambiente, que se basa en la protección de la biodiversidad de la ganadería extensiva, la prevención, el control de la contaminación y la reducción de gases de efecto invernadero en la explotación y en la industria transformante.
- La Seguridad alimentaria a través de la trazabilidad de cada animal que permita seguir todo el proceso del producto y así garantizar su calidad y seguridad.

¹⁷ *Cuatro pilares para el modelo de producción español de carne de vacuno*. Fuente: Vacuno de élite. <http://www.vacunodeelite.es/cuatro-pilares-para-el-modelo-de-produccion-espanol-de-carne-de-vacuno/>

A continuación, se explican más detalladamente características como la base animal, la alimentación, la reproducción..., de los tipos de modelos de producción de vacuno de carne en extensivo existentes en España.

EXPLOTACIÓN EN EL SISTEMA DE DEHESA

Los sistemas de dehesa¹⁸ se distribuyen en el oeste y suroeste de la Península Ibérica, sobre terrenos llanos y ondulados y presentan un clima mediterráneo, distinguiéndose entre dehesa fría como es el caso de Salamanca, Zamora y Ávila, y dehesa cálida como es el caso de Extremadura y Andalucía.

La dehesa se define como un sistema agrosilvopastoril situada en terrenos que presentan una baja aptitud agrícola y arbolado abierto en el que la actividad principal es la producción ganadera extensiva y la actividad cinegética.

Las explotaciones de dehesa suelen estar asociadas a grandes superficies de terreno, que se caracterizan por presentar una base animal con razas autóctonas como la Morucha y la Avileña-Negra Ibérica que se localizan principalmente en la dehesa fría, y la Retinta que se localiza principalmente en la dehesa cálida. Estas razas al ser autóctonas presentan una gran rusticidad, siendo capaces de adaptarse al medio y a las condiciones climáticas, y además las hembras reproductoras tienen un gran carácter maternal. Con frecuencia se realiza cruce industrial, principalmente con sementales de la raza Limusín y Charolés, que permiten acelerar los índices de crecimiento de los terneros y mejorar la conformación de sus canales en función de las exigencias del mercado

En la base animal de las explotaciones de la dehesa también se pueden encontrar razas como el Toro de Lidia y la Berrenda en Negro o en Colorado (ésta se encuentra en peligro de extinción), y explotaciones en las que predomina el conjunto mestizo como base animal de las hembras reproductoras.

La reproducción se realiza mayoritariamente mediante monta natural, por lo que la inseminación artificial se utiliza en muy pocas explotaciones. Su manejo en la mayoría de las explotaciones se realiza mediante una paridera continua, que tiene la ventaja de obtener terneros durante todo el año, pero la desventaja de obtener lotes heterogéneos de terneros. Por ello, la mejor opción es realizar una concentración de los partos, estableciendo las cubriciones entre diciembre y julio, por lo que los partos se producirían entre septiembre y abril. Este tipo de manejo en la reproducción permite la obtención de lotes de terneros más homogéneos además de realizar un mejor aprovechamiento de los recursos naturales de la dehesa.

La reposición en este sistema no suele ser superior al 10% porque las hembras reproductoras tienen una vida útil de 11-12 años y su baja por muerte rara vez supera el 1%. Las novillas destinadas a la reposición se destetan a los 6 meses de edad y se realiza un manejo similar al de las hembras reproductoras, aunque en ocasiones se les aparta para realizar una suplementación de alimento y que tengan un mayor

¹⁸ Acero Adámez, P. (2009). *Planificación y manejo de la explotación de vacuno de carne*. Colección "Prácticas Agropecuarias", Tomo II.

crecimiento. Su primera cubrición se realiza entre 20-24 meses utilizando sementales de razas autóctonas con el fin de evitar partos distócicos, aunque se puede adelantar la cubrición a los 15-16 meses si la novilla ha alcanzado el 60-65% del peso adulto.

La alimentación de los animales es principalmente el aprovechamiento de los recursos naturales de la dehesa, aunque su producción es variable en cantidad y calidad a lo largo del año. Por lo tanto, en los meses desfavorables se realiza una suplementación en la alimentación con forraje, paja o pienso concentrado (habitualmente tacos), que suele realizarse desde julio hasta febrero. Sin embargo, en función de las precipitaciones que se produzcan durante el otoño puede darse el caso de que en esos meses no sea necesaria la suplementación.

La producción de este sistema de dehesa es el ternero al destete, con una edad de 6 meses y 200kg de peso vivo, siendo su destino principal el cebo fuera de la explotación.

EXPLOTACIÓN EN EL SISTEMA DE LA ESPAÑA HÚMEDA

Este sistema de explotación se extiende por el Macizo Galaico y la Cordillera Cantábrica. Se encuentra localizado en Galicia, Asturias y Cantabria, y se caracteriza porque se sitúa en zonas bastante buenas para la producción de pastos.

Las explotaciones se caracterizan por ser de pequeño o medio tamaño y familiares, y presentan una base animal con razas como la Rubia Gallega, que es la raza por excelencia y se caracteriza por tener buena conformación, formato grande y buenas aptitudes maternas con alta producción de leche, y la Asturiana de los Valles.

En cuanto a la reproducción, se realizan dos programas para agrupar los partos; uno en otoño en el que las vacas paren entre octubre y diciembre y los terneros se destetan en julio una vez que han aprovechado los pastos de primavera, y las vacas se vuelven a cubrir a las 5-6 semanas después del parto; y el otro programa en primavera en el que las vacas se cubren de abril a junio para que los partos se produzcan entre enero y marzo, y el destete se realiza en octubre y noviembre siendo necesario en verano realizar una suplementación en la alimentación.

La reposición, realizando un manejo adecuado, no suele superar el 15%, y la primera cubrición de las novillas se puede realizar antes que en los otros sistemas, a los 16-20 meses, porque la disposición de pasto es mayor y las novillas se desarrollan antes.

La alimentación se basa principalmente en los pastos, y es frecuente realizar un pastoreo rotacional para conseguir una mejor producción además de reservar una parte de los pastos para conservar. En primavera los animales se alimentan de los pastos, en verano se alimentan de los rebrotes del pasto y en otoño cuando se producen las lluvias vuelve a incrementarse la producción de los pastos, permitiendo que las vacas se puedan alimentar. Sin embargo, en invierno se realiza una suplementación con el forraje conservado, bien en el establo si se estabulan los animales o en el campo si no se realiza estabulación.

La producción en este sistema es de terneros destetados al final de verano con una edad de 7-8 meses y 180-250kg de peso vivo, obteniendo una ganancia media diaria superior a 1kg en el pastoreo de otoño, 0,75-0,80kg/día en a invernada y 1,3kg/día en el pastoreo de primavera.

Las características de este sistema de explotación de la Cornisa Cantábrica, en comparación con el sistema de dehesa, son que las explotaciones tienen una menor dimensión con tendencia al minifundio, los recursos naturales tienen una mayor producción y calidad, las razas empleadas están muy seleccionadas y tienen altos rendimientos, y existe la posibilidad de cebar los terneros en extensivo aprovechando los recursos naturales con la finalidad de disminuir los costes de producción y obtener una carne de calidad.

EXPLOTACIÓN EN EL SISTEMA DE MONTAÑA

El Sistema de Montaña se localiza en los sistemas montañosos de los Pirineos, los Picos de Europa y el Sistema Central, en los cuales se emplea una base animal con dos razas principales como son la Asturiana de la Montaña y la Pirenaica, y otras razas como la Parda de Montaña, la Tudanca y la Avileña-Negra Ibérica. De estas razas la Asturiana de la Montaña y la Tudanca se encuentran en peligro de extinción.

Las explotaciones tienen importantes diferencias en función a la ubicación de la ganadería, siendo las que se encuentran en los sistemas montañosos centrales similares a las explotaciones de la dehesa comentadas anteriormente.

En cuanto a la reproducción, tradicionalmente se han agrupado los partos desde finales de invierno y principios de primavera para que coincidan con la época en la que hay abundantes pastos, pero existe la posibilidad de agrupar los partos en otoño para que las vacas recuperen en primavera, que es la época con abundantes pastos, la condición corporal debido a que en estas explotaciones se busca que el intervalo entre partos sea de un año.

La reposición suele ser baja porque las razas empleadas tienen una gran rusticidad que se adaptan bien al medio, y las novillas se cubren por primera vez entre los 20-30 meses, siendo posible reducir este período si se realiza una buena suplementación de la alimentación.

La alimentación de las vacas se realiza casi completamente con forrajes consumidos directamente o conservados. En primavera las vacas se alimentan de los pastos de media montaña y según va avanzando el verano, los animales van ascendiendo en la montaña hasta llegar al puerto. En otoño vuelven a las zonas de media montaña para aprovechar el rebrote del pasto, y una vez que llega el invierno, los animales son estabulados y se alimentan con los forrajes conservados.

También se puede realizar la trashumancia, como es el caso de explotaciones de vacuno de la raza Avileña situadas en el Sistema Central, las cuales alquilan pastos de la Sierra de Gredos y cuando llega el invierno trasladan los animales a los montes cercanos de Ávila o a las dehesas de Extremadura y Castilla La Mancha.

2.1.3. ANÁLISIS DE SITUACIÓN

Una vez establecida la importancia del sector del vacuno de carne y su modelo de producción y manejo se puede realizar un análisis de su situación actual a través de un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades). Este tipo de análisis permite realizar un análisis interno estableciendo las Debilidades y las Fortalezas, y un análisis externo estableciendo las Amenazas y Oportunidades.

El objetivo de este análisis DAFO es proporcionar las ventajas competitivas del sector del vacuno de carne, así como las desventajas y aspectos menos competitivos, para mejorar la viabilidad de la ganadería en extensivo en relación a la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria y el bienestar y sanidad animal, que permiten realizar una gestión eficiente de las explotaciones, y con ello mejorar su viabilidad económica.

DEBILIDADES

- Dispersión de la producción debido a la distinta localización del sector de las vacas nodrizas, caracterizado por explotaciones ligadas a la tierra situadas principalmente en Castilla y León, Extremadura y Andalucía, y del sector del vacuno de cebo¹⁸, caracterizado por grandes cebaderos totalmente intensivos y con un mayor desarrollo tecnológico situados principalmente en Lérida, Toledo o Segovia, que se encuentran en zonas próximas a grandes concentraciones de población como son Madrid y Barcelona.
- Menor consumo de la carne de vacuno debido a la competencia con la carne de otras especies ganaderas, que tienen precios más bajos en el mercado, como es el caso de la carne de pollo.
- Escasa rentabilidad de las explotaciones debido a que los costes de producción (por ejemplo, los costes de las materias primas) han aumentado en mayor medida que los ingresos obtenidos por la venta del producto, obteniéndose por ello márgenes bajos. Esto complica la viabilidad de las explotaciones y determina que haya una fuerte dependencia de las subvenciones.
- Comercialización de la producción no integrada en la cadena de valor, caracterizada en la mayoría de los casos por un gran número de intermediarios, siendo el ganadero el eslabón más débil de la cadena y que obtiene un menor beneficio.
- Menor empleo de razas autóctonas en los sistemas extensivos y mayor empleo de cruce industrial con la finalidad de conseguir una rápida precocidad y mayor conformación, en vez de realizar una selección de los animales autóctonos, que por su rusticidad se adaptan mejor a las condiciones del medio, para conseguir una mejora de los parámetros técnicos.
- Inestabilidad y estacionalidad de los sistemas intensivos en cuanto a los recursos naturales, que varían dependiendo de la época del año en cantidad y calidad. Esto se produce sobre todo en los sistemas de dehesa, los cuales depende en mayor medida de la suplementación de la alimentación con respecto a los otros sistemas,

los cuales permiten un mayor aprovechamiento de los pastos, e incluso su conservación para la suplementación realizada en invierno.

- Baja fertilidad de las vacas debido a una gestión deficiente de la reproducción porque en muchas explotaciones realizan una monta continua, en vez de retirar los toros y realizar una agrupación de los partos, que permite que los partos se produzcan en épocas más favorables en relación a la disponibilidad de alimento.
- Escasa utilización de tecnologías de reproducción como la inseminación artificial y el diagnóstico de gestación que podrían utilizarse para un manejo más adecuado de la reproducción, y con ello mejorar la productividad del rebaño. Esto se produce porque muchos ganaderos piensan que dichas técnicas tienen un precio elevado.
- Elevado gasto de alimentación, sobre todo en sistemas de dehesa, en los que es necesario realizar una suplementación en un período más prolongado a lo largo del año a base de forrajes o pienso concentrado, que suponen un elevado coste para el ganadero.

FORTALEZAS

- El sector del vacuno de carne tiene una gran importancia en la Producción Final Ganadera en España (ocupa el tercer lugar), y en relación a la Unión Europea es uno de los países con mayor producción y valor (ocupa la cuarta posición).
- La ganadería extensiva ofrece productos de alta calidad que son más apreciados por los consumidores, debido a que en la actualidad hay un mayor rechazo a los productos obtenidos en sistemas intensivos por motivos relacionados con el maltrato animal, el perjuicio ocasionado sobre el medioambiente, el uso de antibióticos, etc.
- Existencia de denominaciones de calidad y de certificación ecológica que ofrecen al ganadero la posibilidad de producir alimentos con un mayor valor añadido, y con ello obtener un mayor beneficio.
- Creación de ecosistemas con un alto valor ambiental porque un adecuado manejo del ganado en extensivo permite el mantenimiento y la conservación de la biodiversidad de la flora y la fauna, y además contribuye a realizar una gestión eficaz en el control de matorrales y prevención de incendios.
- Gran potencial genético que permiten la diversidad de las razas de ganado, presentando las razas autóctonas una gran rusticidad para su explotación en extensivo por la adaptación a las condiciones del medio, y las razas integradas empleadas en el cruzamiento con las autóctonas ofrecen una mejora de la condición cárnica.
- La ganadería extensiva contribuye a fijar población en áreas rurales en las que no es posible otro tipo de actividad, es decir, son áreas que solo se pueden aprovechar con dicha actividad ganadera y no son aptas para el aprovechamiento como agricultura convencional.

- Existen otros sectores económicos locales que dependen de la actividad ganadera debido a que ésta favorece la diversificación productiva y es compatible con otros aprovechamientos como la caza, la apicultura y la recolección de setas y frutos, e incluso con actividades turísticas, recreativas y de ocio.
- La actividad ganadera en extensivo en la actualidad tiene una mayor aceptación en la sociedad debido a que cada vez existe un mayor rechazo a las macrogranjas. Este rechazo no es solo por motivos en las preferencias de los consumidores en cuanto a los productos alimentarios obtenidos, sino por el impacto ambiental que pueden ocasionar estos sistemas en relación a la contaminación del agua por nitratos procedentes de fuentes agrarias, la contaminación del aire por los malos olores, y en general la contaminación de los suelos.

AMENAZAS

- Disminución del consumo de carne por el cambio en los hábitos alimenticios que se están produciendo actualmente, es decir, el rechazo a los productos cárnicos en el caso de los vegetarianos, y el rechazo en general a todos los productos alimentarios procedentes de los animales en el caso del veganismo.
- Consecuencias relacionadas con la salida del Reino Unido de la Unión Europea, en función de los acuerdos que establezcan, los cuales en estos momentos no se han establecido y según las últimas noticias se prevé que no sea a corto plazo, ocasionando una gran incertidumbre en todos los mercados, y no solo en el mercado del vacuno de carne.
- Los cierres de fronteras debidos a temas políticos y sanitarios que impidan las exportaciones de las producciones de vacuno, tanto de animales vivos como de carne, como ha sido el caso de Turquía con la prohibición de las importaciones y de Rusia con el veto de la carne procedente de países de la UE. Estas restricciones en la actualidad no se están produciendo y se puede exportar a ambos países cumpliendo una serie de condiciones veterinarias.
- Aumento de las razas de fomento para el cruce industrial y el empleo de la descendencia de la F1 como hembras reproductoras con el objetivo de mejorar la condición cárnica y obtener unas producciones más rápidas, con el consiguiente descenso del empleo de las razas autóctonas, siendo éstas las que mejor se adaptan a los sistemas extensivos.
- Despoblación de las zonas rurales en favor de las grandes ciudades debido al envejecimiento de la población rural y al escaso relevo generacional. Esto se produce porque en la mayoría de las zonas rurales hay una escasa digitalización y poco desarrollo en la innovación tecnológica, además de la falta de servicios públicos.
- Tendencia al aumento de las explotaciones intensivas, es decir, a la creación de macrogranjas, en detrimento de las explotaciones agrarias de tamaño pequeño o medio y las familiares, siendo éstas las más habituales en los sistemas ganaderos extensivos. En el caso de Castilla y León, la administración ha simplificado los

trámites para la apertura de explotaciones, permitiendo que éstas se puedan abrir sin tener la declaración previa de impacto ambiental, y posteriormente realizar las inspecciones pertinentes para comprobar que cumplen con las exigencias que establece la legislación.

- Consecuencias relacionadas con el cambio climático debido a la cada vez mayor escasez de las lluvias, que no solo son importantes para la producción de los pastos, sino también para el consumo de los animales. Esta situación hace que los abrevaderos naturales se queden sin agua en los períodos de sequía y sea necesario el abastecimiento del agua de la red pública para cubrir las necesidades de los animales. También se está produciendo una escasez de agua en la red pública debido a la sequía, que puede originar el cierre del suministro de agua a las explotaciones, siendo prioritario para el abastecimiento de la población, y como consecuencia el cierre de las explotaciones por la falta de uno de los recursos más importantes.

OPORTUNIDADES

- Reconversión de las explotaciones de aptitud láctea en explotaciones de aptitud cárnica, siendo una oportunidad para el aumento del número de explotaciones en el sector del vacuno de carne, pero una amenaza en el sector del vacuno de leche.
- Producción de alimentos con certificación de denominaciones de calidad o de certificación en producción ecológico debido a que se está produciendo un aumento de dicha producción y ofrece un valor añadido a los productos. El aumento de estas producciones se produce porque los consumidores consideran que los alimentos obtenidos son más saludables, y por ello son más apreciados en el mercado.
- Creación de explotaciones de vacuno de carne en ecológico y conversión de las explotaciones convencionales debido a que cada vez hay más consumidores que demandan este tipo de alimentos. Además, la producción en ecológico no solo ofrece un valor añadido al producto, sino que ofrece otros beneficios relacionados con el medioambiente como el respeto de los recursos naturales ayudando a mantener la fertilidad del suelo, la reducción de la erosión y la degradación de la estructura del suelo y la utilización de insumos de origen natural o ecológico, y con el bienestar animal y la diversidad animal y vegetal, fomentado el empleo de razas autóctonas y semillas autóctonas.
- Aumento de la ganadería en extensivo, aunque anteriormente he comentado que la tendencia a las macrogranjas puede ser una amenaza, debido a la actuación de la administración en relación a la simplificación de los trámites para el establecimiento de explotaciones. Sin embargo, en la actualidad se está produciendo una gran presión por parte de la sociedad para impedir que se lleven a cabo ese tipo de explotaciones con un gran número de cabezas de animales que, junto con la sentencia del Tribunal Superior de Justicia en Castilla y León en relación a las licencias de impacto ambiental, puede ser beneficiosos para el aumento de los sistemas en extensivo. Dicha sentencia anula la simplificación de

los trámites, siendo necesario obtener primero la declaración favorable de impacto ambiental para la apertura de las explotaciones.

- Mejora de la genética de las razas a través de la selección. En vacuno de carne se realiza con mayor frecuencia la selección en centros de testaje para medir parámetros como la velocidad de crecimiento, el índice de conversión alimenticio y la conformación cárnica, y posteriormente se realizan pruebas de descendencia. También existe la selección genómica, utilizada más habitualmente en vacuno de leche, que permite realizar una selección de la descendencia para la obtención de animales con mejores rendimientos cárnicos y reproductivos, a una edad más temprana.
- Desarrollo rural a través de la fijación de la población en zonas rurales en las que solo se puede establecer la ganadería extensiva. Esto se puede favorecer con la implantación de las tecnologías de información y la comunicación (TICs) y el desarrollo de la innovación tecnológica en dichas zonas rurales, y con la disponibilidad y mejora de los servicios públicos.
- Integración de la mujer en el sector agrario que favorezca el desarrollo rural. En la actualidad existen ayudas para favorecer su incorporación al mundo rural a través de las medidas de desarrollo rural financiadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Rural (FEADER).
- Gestión eficiente de las explotaciones a través de avances tecnológicos que permitan realizar un mejor manejo de la alimentación y de la reproducción con la finalidad de mejorar la fertilidad de los animales y la producción, y en consecuencia mejorar la viabilidad económica de las explotaciones.
- Reducción de los costes de producción, y en especial del coste de la alimentación en algunos sistemas extensivos como los de dehesa. Esto se puede realizar con un manejo adecuado del pastoreo y con avances tecnológicos que permitan mejorar la calidad de los pastos y su aprovechamiento.

2.2. ESTADO ACTUAL DE LA SENSORIZACIÓN ANIMAL

La tecnología se encuentra muy presente en nuestra vida cotidiana debido a que el creciente desarrollo de innovaciones tecnológicas permite la introducción en el mercado de productos y procesos totalmente nuevos. En los últimos años, las TICs han dado lugar a numerosas innovaciones tecnológicas en los sectores de la agricultura y la industria produciendo importantes cambios¹⁹. En cuanto al sector de la ganadería es importante modernizar los modelos de producción que nos permitan obtener en el futuro una producción sostenible con el medio ambiente y conseguir reducir la huella ecológica.

El aumento constante del tamaño de las explotaciones ganaderas y de los rendimientos de producción de los animales requieren una mayor exigencia para el

¹⁹ Fuentes Navarro, E. (2016). *Innovaciones tecnológicas en ganadería: Hacia una producción basada en el uso de tecnologías de la información y la comunicación*. Fuente: Actualidad Ganadera. <http://www.actualidadganadera.com/articulos/Innovaciones-tecnologicas-en-ganaderia.html>

propio animal y para el ganadero²⁰. Los principales objetivos de dichas explotaciones son conseguir un adecuado estado sanitario de los animales, obtener los mejores índices reproductivos, longevidad y un óptimo y rentable rendimiento productivo, y una calidad del producto final. Para conseguir estos objetivos es necesario realizar una observación minuciosa de cada uno de los animales, realizar una adecuada alimentación y reaccionar a los posibles cambios en el estado sanitario de los animales. El principal inconveniente de la ejecución de dichos objetivos es la observación minuciosa de los animales porque requiere mucho tiempo debido al gran número de animales que hay en las explotaciones, y por ello es necesario el empleo de tecnologías que permitan ayudar al ganadero en la gestión del rebaño para detectar posibles problemas en los animales.

La innovación debe producirse a partir de un diagnóstico de la situación del entorno productivo y de mercado de los sistemas ganaderos, con un análisis de sus debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades²¹. Para ello se debe intercambiar y explorar con un enfoque participativo, tanto en el diagnóstico de las necesidades como en el análisis de la información obtenida, y con la puesta en común de las experiencias entre todos los componentes de la cadena productiva, es decir entre productores, técnicos, investigadores, gestores y agentes sociales. Esto permite tener una idónea variedad de soluciones para los distintos sistemas de producción, los nichos de mercado y los sectores sociales, ofreciéndoles información sobre la producción de alimentos.

2.2.1. NUEVOS SENSORES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

El uso de tecnologías para el manejo y la gestión de explotaciones ganaderas se denomina **Ganadería de precisión**, o también llamada **Ganadería 4.0**, que se puede definir como la metodología de manejo y de gestión que utiliza sensores y tecnologías de la información para monitorear y optimizar la contribución de cada animal a la producción, la salud, el impacto ambiental, el gasto energético y el bienestar en tiempo real, de forma automática y continua.

El principal objetivo de las nuevas tecnologías o sensores que se aplican en ganadería es maximizar el potencial individual de cada animal y la detección precoz de anomalías para así reducir el uso de antibióticos mediante la utilización de medidas de prevención. Sin embargo, desde el punto de vista económico y tecnológico, el objetivo principal es incrementar la rentabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad de las explotaciones mediante la optimización en la adquisición de datos *in situ* y de su procesado, análisis e interpretación, con la finalidad de optimizar la producción, nutrición y el ambiente de los animales. Por lo tanto, en la actualidad y en un futuro vamos hacia explotaciones que sean más competitivas y sostenibles para tener un mejor control, y por ello es necesario la utilización de las tecnologías innovadoras.

²⁰ Callejo Ramos, A. (2014). *Ganadería de precisión*. Mundo Ganadero Noviembre/Diciembre '14.

²¹ Casasús, I., Gabiña, D., y Casablanca, F. (2009). *La innovación en los sistemas ganaderos mediterráneos*. Mundo Ganadero Junio'09.

El control que se debe realizar en las explotaciones para conseguir competitividad y sostenibilidad se fundamenta en:

- El control del bienestar animal; que se basa en el estado sanitario que presentan los animales mediante la bioseguridad, el estado inmunitario y el control de enfermedades y el estado del comportamiento a través de la actividad del animal, sonidos, movimientos, etc.
- El control productivo; que se basa en la obtención de datos sobre el consumo de materias primas (agua y alimentos) e indicadores productivos como el peso, la ganancia media diaria o la producción de carne.
- El control de la energía; que se basa en mediciones energéticas periódicas y en controles de consumo de electricidad y combustibles.

Los beneficios que implica el empleo de tecnologías y sensores son una mayor eficiencia en la producción, menores costes de producción, mayor calidad de los productos, reducción de los impactos ambientales y mejora del estado sanitario y del bienestar de los animales.

En general, se utilizan los sistemas tecnológicos para medir las señales procedentes del ser vivo (en este caso el vacuno). Dichas señales se originan debido a los distintos síntomas clínicos del animal, que tienen que ser procesadas para garantizar su seguridad, siendo necesario en la mayoría de las ocasiones utilizar métodos de medida indirectos²². Estos métodos se basan en la colocación de sensores en el animal para obtener las características señales de amplitud y frecuencia, las cuales deben ser amplificadas y acondicionadas a través de un filtrado para seleccionar las señales de interés, siendo una de las fases más importantes en el tratamiento de las señales.

La fase de amplificación en los sistemas tecnológicos se puede definir como un bloque con una entrada y una salida que se encarga de tomar la señal a la entrada y llevarla hasta la salida con un nivel más elevado de potencia. En estas señales es importante tener en cuenta el parámetro de “relación señal/ruido (S/N)” porque suelen ir acompañadas de ruido, y además a lo largo del tratamiento de los datos se va añadiendo más ruido procedente de los componentes electrónicos del amplificador (resistencias, diodos...), que se denomina ruido interno. Este ruido interno se puede cuantificar a través del parámetro llamado figura de ruido (Noise Figure, NF); siendo el cociente entre la relación señal/ruido a la entrada del amplificador y la relación señal/ruido a la salida, que siempre es mayor que cero. Por lo tanto, los valores más altos de este parámetro se corresponden con amplificadores más ruidosos y los valores más bajos con amplificadores poco ruidosos.

Las tecnologías y sensores en la ganadería 4.0 se han desarrollado principalmente en el ámbito de la producción animal debido a la importancia económica, diferenciándose en varias áreas de producción, y siendo el sector lácteo líder en este

²² Pérez García, M.A., Álvarez Antón, J.C., Campo Rodríguez, J.C., Ferrero Martín, F.J., y Grillo Ortega, G.J. (2004). *Instrumentación electrónica*. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo. Editorial Thomson.

tipo de tecnología²³. Por lo tanto, existen una gran variedad de tecnologías y sensores, como pueden ser las siguientes:

- Sistemas de alimentación de precisión.
- Sistemas de medición de leche.
- Sistemas de monitorización de variables fisiológicas; a través de la medición de la temperatura del animal, el ritmo cardíaco, el ritmo respiratorio y la rumia.
- Sensores de actividad.
- Sistemas de manejo de la reproducción para la confirmación de la gestación y la detección del celo y el parto.
- Sistemas de localización a través del geoposicionamiento del animal.
- Sistemas de identificación electrónica animal.
- Sistemas de monitoreo de animales con drones.
- Sistemas de gestión de pastos.
- Sistemas de gestión de explotaciones.
- Biosensores.
- Sistemas de monitoreo de la condición corporal y movimiento.
- Sistemas de monitoreo del movimiento y actividad neuronal.

Antes de explicar las distintas tecnologías innovadoras que existen en producción animal es importante establecer el comportamiento de un animal enfermo, debido a que muchas de dichas tecnologías nos permiten detectar cambios en el animal que impliquen enfermedad. Cuando un animal está enfermo, su organismo comienza a realizar actividades del sistema inmunológico para defenderse del ataque de agentes patógenos, utilizando la energía para el mantenimiento de otros sistemas del animal, y por ello el animal presenta síntomas como depresión, apatía, fiebre, disminución en el consumo de alimento y de agua, y reducción del comportamiento social. Por lo tanto, la importancia de estos cambios en el comportamiento nos ofrece la oportunidad de utilizarlos como indicadores de aparición de enfermedad, y en este caso intervenir con el tratamiento adecuado para su recuperación.

A continuación, se va a explicar más detalladamente los distintos ejemplos de tecnologías y sensores, mencionados anteriormente, que existen en la actualidad a través de una clasificación en base a la función que realicen y su finalidad.

²³ Xercavins Simó, A., Varvaró Porter, A., Pedrera Romano, C., y Blanco Penedo, I. (2017). Avances en tecnología, parametrización y monitorización de enfermedades. In: Cantalapiedra Álvarez, J.J., Puerta Villegas, J.L., Yllera Fernández, M.M., Blanco Penedo, I., y Fernández Rodríguez, M.E., ed., *Bienestar animal. Salud y enfermedad en relación con el comportamiento*.

SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE PRECISIÓN

La alimentación de los animales supone el principal coste de producción en cualquier explotación y por ello, si se logra una mejor eficiencia en la transformación del alimento, bien sea en leche o en carne, se conseguirá una disminución de dicho coste. Desde hace tiempo, la formulación de raciones para el vacuno lechero y de carne se apoya en la tecnología mediante el uso de software para la elaboración de dichas raciones, las cuales deben satisfacer las necesidades nutritivas de los animales, y al mínimo coste. Esto se puede considerar como “alimentación de precisión”²⁴.

La tecnología en este aspecto puede contribuir a la temprana detección de los problemas relacionados con la alimentación mediante la información obtenida de manera constante con los sensores adecuados, los cuales proporcionan señales de alarma a través de un análisis automático. Esto tiene un papel esencial en la alimentación porque nos permite tomar las decisiones adecuadas de manera inmediata, aumentando su eficiencia y los márgenes económicos y contribuyendo al aumento de la producción de alimentos, y con ello mantener la competitividad y la sostenibilidad de las explotaciones. Además, desde el punto de vista del empleo de mano de obra, la mecanización y automatización permiten reducirla y aumentar su eficiencia.

La alimentación de precisión se encuentra muy extendida y se basa en la identificación individual mediante radiofrecuencia de cada animal para que sean reconocidos por los comederos, permitiendo una alimentación precisa del pienso. Esta tecnología se utiliza principalmente en el sector porcino con la finalidad de detectar el estado fisiológico en cerdas gestantes, y también se utiliza en vacas lecheras para analizar el nivel de producción, en pollos para comprobar la edad e incluso en la alimentación con leche de terneros²³.

En el caso del sector del vacuno esta tecnología se utiliza fundamentalmente en vacas de leche mediante distribuidores automáticos de concentrado (DAC) que suministran un alimento concentrado de composición constante a los animales, pero en cantidades variables según las necesidades individuales de cada uno de los animales. Estos distribuidores permiten un control informático e individual de cada uno de los animales, además de ofrecer una monitorización de la temperatura, el movimiento y la rumia del animal, así como la geolocalización del animal.

La alimentación de los terneros se puede realizar también de forma automática a través de una nodriza automática, denominada comúnmente “amamantadora”, que se utiliza desde el segundo día de vida del ternero hasta el destete y posibilita la distribución de leche varias veces al día, y así los terneros pueden ingerir más cantidad de leche a lo largo del día. Una de las ventajas de esta tecnología es que permite registrar el comportamiento de cada uno de los terneros en la amamantadora, ofreciendo información sobre el número de visitas y tiempo de cada una de ellas, la cantidad de leche ingerida en cada visita y en total, e incluso el número de visitas en las que el

²⁴ Callejo Ramos, A. (2015). *Alimentación de precisión en vacuno lechero*. Frisona Española 206 m/a.

sistema no le ha proporcionado leche. Por lo tanto, la información obtenida con el empleo de esta tecnología nos permite identificar terneros enfermos.

Un ejemplo de DAC o estación de alimentación para vacuno que se puede encontrar en el mercado es el siguiente:

- Estación de alimentación para vacas²⁵ (Figura 17): Este sistema se basa en un software de gestión con un sistema de identificación programable, el cual permite detectar si el animal ha recibido o no su ración de concentrado, a través del collar de identificación individual que lleva colocado cada uno de los animales en el cuello. La información obtenida proporciona datos sobre la ingestión de concentrado, que se pueden observar en el ordenador o en un dispositivo móvil y, por lo tanto, permite aumentar la eficiencia de la alimentación de vacuno, así como mejorar la salud del rumen de los animales.



Figura 17: Estación de alimentación para vacas y Collar de identificación individual.
Fuente: Agriexpo

Un ejemplo de nodriza automática para terneros o amamantadora que se puede encontrar en el mercado es el siguiente:

- Estación de alimentación para terneros²⁶ (Figura 18): El funcionamiento de este sistema es igual al de la estación de alimentación para vacas explicado anteriormente, es decir, se basa en un software de gestión con un sistema de identificación automático que se puede programar y detecta si el ternero ha recibido o no su ración de leche, y además, lleva incorporado un sensor que permite medir la temperatura de la leche y así distribuirla a la temperatura adecuada para el ternero. Esta amamantadora se puede utilizar tanto en alojamientos individuales como en alojamientos colectivos

²⁵ Estación de alimentación para bovinos con sistema de identificación automático (Lely Cosmix). Fuente: Agriexpo. <http://www.agriexpo.online/es/prod/lely/product-169577-1422.html>

²⁶ Estación de alimentación para terneros con sistema de identificación automático (LifeStart). Fuente: Agriexpo. <http://www.agriexpo.online/es/prod/urban-gmbh-co-kg/product-172645-9340.html>



Figura 18: Estación de alimentación para terneros. Fuente: Agriexpo

En el caso de las vacas nodrizas resulta más complicado realizar una alimentación de precisión debido que no están estabuladas y se encuentran en extensivo aprovechando los recursos naturales. Sin embargo, en este sistema de producción en extensivo se puede utilizar la tecnología para la identificación de las zonas que realmente están aprovechando los animales, realizándose mediante la utilización de sistemas de posicionamiento por satélite y comunicaciones a largas distancias para la gestión remota, los cuales se explicarán más detalladamente en el correspondiente apartado de sistemas de localización.

SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LECHE

Los sistemas de medición de leche se emplean principalmente en vacuno lechero, siendo la producción el parámetro más habitual que se mide a través de medidores de flujo básicos. Sin embargo, existen otros sistemas que pueden incluir sensores para la detección de enfermedades, siendo la mastitis la enfermedad más habitual que se puede detectar con dichos sensores²³.

La mastitis es una de las enfermedades infecciosas más importantes en el ganado vacuno porque supone un gran impacto en la producción animal, el bienestar animal y la calidad de la leche, que se produce mediante una respuesta inflamatoria de la glándula mamaria causada generalmente por bacterias. Se caracteriza por la presencia de células somáticas en la glándula mamaria, que son células del propio organismo, entre las que destaca principalmente los neutrófilos polimorfnucleares (PMN), y por un exceso en el contenido de proteasa en la leche²⁷.

Esta enfermedad se detecta generalmente por la aparición de signos clínicos, entre los que se incluyen; descenso en la producción de leche, aumento en el número de leucocitos, composición y apariencia de la leche con grumos, fiebre y cuartos mamaros enrojecidos, hinchados y calientes. Sin embargo, en algunas ocasiones se

²⁷ Bedoya, C.C., Castañeda, V.H., y Wolter, W. (2007). *Métodos de detección de la mastitis bovina (Methods of detection of the bovine mastitis)*. Revista electrónica de Veterinaria. ISSN 1695-7504 2007, Volumen VIII, Número 9.

produce una mastitis subclínica, en la que no se observan síntomas de la enfermedad, dando lugar a un descenso de la producción, un elevado contenido de leucocitos y de bacterias en la leche.

Los métodos existentes para la detección de esta enfermedad son los siguientes:

- Observación y palpación de la ubre: Si se produce una mastitis con síntomas clínicos se observa la ubre enrojecida y la leche con un color alterado, grumos, coágulos de pus y leche más acuosa. Sin embargo, si se produce una mastitis subclínica se observa la ubre aparentemente sana y la leche normal. Por lo tanto, este método de observación y palpación solo es útil cuando se produce una mastitis clínica.
- Pruebas físicas: Entre ellas podemos encontrar la prueba de la escudilla de ordeño (se emplea un tejido negro encima de la escudilla para la observación de grumos), la prueba del paño negro (la leche pasa por una malla negra para la observación de grumos) y la taza probadora (presenta un fondo negro para observar color anormal, coágulos u otros componentes anormales). Son útiles cuando la mastitis produce síntomas clínicos, pero no permiten detectar la mastitis subclínica.
- Pruebas químicas: Entre ellas podemos encontrar la conductividad eléctrica de la leche, el papel indicador de mastitis (por el cambio del pH) y la prueba de Whiteside (mezclando la leche con una solución de hidróxido de sodio al 4% para que se gelifique y forme grumos).
- Pruebas biológicas: Entre ellas podemos encontrar la prueba de California para mastitis, la prueba Catalasa, la prueba de Wisconsin, la prueba de CAMP, el monitoreo de células somáticas por microscopía directa y el diagnóstico de bacterias a través del aislamiento, cultivo, tinción, bioquímica e identificación. Estas pruebas requieren su realización en laboratorios.
- Métodos electrónicos: Entre ellos encontramos aparatos para el recuento de células somáticas, que en la actualidad tienen una aplicación universal.

Los sistemas tecnológicos que detectan la mastitis a través de la medición de la conductividad eléctrica²⁸ se fundamentan en la detección de la alteración iónica que causa la inflamación de la glándula mamaria, la cual se manifiesta por un aumento de la concentración de sodio y cloro, incrementando como consecuencia la concentración iónica, y como resultado de la medición se obtienen una conductividad eléctrica elevada.

Algunos ejemplos de estos tipos de detectores de mastitis que se pueden encontrar en el mercado son los siguientes:

²⁸ Elizalde, E.F., Signorini, M.L., Canavesio, V.R., Cuatrin, A., Tarabla, H.D., y Calvino, L.F. (2009). *Medición de la conductividad eléctrica en leche como método diagnóstico de mastitis subclínica bovina*. Revista FAVE - Ciencias Veterinarias 8 (1).

- **Detector de mastitis 4Q²⁹** (Figura 19): Este sistema es un método químico que permite detectar la mastitis a través de la medición de la conductividad eléctrica. Se realiza recogiendo los primeros flujos de leche directamente de la ubre en el cubito que presenta el aparato, el cual mide la concentración iónica para detectar si existe mastitis, y una vez realizada la primera medición se prosigue con el resto de los cuartos de la ubre.



Figura 19: Detector de mastitis 4Q. Fuente: Draminski

- **Detector de mastitis 4x4Q³⁰** (Figura 20): Este sistema es un método químico de detección de mastitis a través de la conductividad eléctrica que tiene el mismo funcionamiento que el detector explicado anteriormente, y se diferencia únicamente en que éste presenta cuatro cubitos para recoger los flujos de leche.



Figura 20: Detector de mastitis 4x4Q. Fuente: Draminski

Los sistemas tecnológicos que detectan la mastitis a través del recuento de células somáticas se basan en la microscopía óptica. Este recuento es una medición muy utilizada en la supervisión del estado inflamatorio de las glándulas mamarias y se expresa como el número de células somáticas por milímetro de leche (cs/ml), produciéndose la mastitis cuando existen más de 200.000 cs/ml de leche.

Algunos ejemplos de sistemas detectores de mastitis por recuento de células somáticas que existen en el mercado son los siguientes:

²⁹ *Detector de mastitis 4Q*. Fuente: Draminski. <https://www.draminski.es/agri/detectores-de-mastitis/draminski-detector-de-mastitis-4q/>

³⁰ *Detector de mastitis 4x4Q*. Fuente: Draminski. <https://www.draminski.es/agri/detectores-de-mastitis/draminski-detector-de-mastitis-4x4q/>

- **Cell counter DCC³¹** (Figura 21): Es un método electrónico directo que permite medir y registrar el número de células somáticas de una vaca, los cuartos de su ubre y el tanque completo de refrigeración. El dispositivo emplea cassettes que succionan pequeñas cantidades de leche, mezclándose en su interior con un colorante fluorescente que solo reacciona con el ADN de las células somáticas, y a través de un sensor de fluorescencia se lleva a cabo el conteo de las células somáticas, expresando su número total en la pantalla del sistema.



Figura 21: Cell counter DCC. Fuente: DeLaval.

- **Contador de células online OCC³²** (Figura 22): Este sistema es un método electrónico directo que realiza un recuento de células somáticas en línea, y tiene un funcionamiento igual al dispositivo explicado anteriormente (cell counter). Por lo tanto, utiliza un reactivo para la tinción del núcleo de las células somáticas, y posteriormente a través de un sensor de fluorescencia realiza el correspondiente conteo. Este contador en línea va incorporado al robot de ordeño, el cual se encargará de retirar la leche de la vaca que presente mastitis para que no llegue al tanque de refrigeración.



Figura 22: Contador de células online OCC. Fuente: DeLaval

³¹ *Cell Counter DCC*). Fuente: DeLaval. <https://www.delaval.com/es-bo/our-solutions/milking/salud-de-la-ubre-e-higiene/milk-testing/delaval-cell-counter-dcc/>

³² *Contador de células online OCC*. Fuente: DeLaval. <https://www.delaval.com/es-es/nuestras-soluciones/ordeno/cuidado-de-la-ubre/milk-testing/contador-de-celulas-online-occ-de-delaval/>

SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES FISIOLÓGICAS

Las variables fisiológicas de los animales a monitorizar son la temperatura corporal, el movimiento ruminal, el ritmo respiratorio y el ritmo cardíaco. Existen sistemas de monitorización que nos sirven para la monitorización de todas las variables, y otros más específicos de alguna de ellas.

La medición de la temperatura se puede realizar mediante termómetros, cámaras térmicas y termobolos que permiten realizar una monitorización de los cambios de temperatura corporal, y con ello detectar problemas de salud. Sin embargo, la medición del ritmo respiratorio y cardíaco se realiza mediante el empleo de fonendos, y la medición del movimiento ruminal se realiza mediante bolos de pH o collares de rumia.

En general, estos sistemas permiten realizar un control del bienestar animal porque al monitorizar los cambios en las variables fisiológicas se pueden detectar posibles trastornos en la salud de los animales, e incluso detectar el celo para realizar una mejor gestión de la reproducción.

➤ Termómetros

Los termómetros empleados para medir la temperatura corporal de los animales suelen ser digitales, e incluso termómetros líquidos, que se utilizan por vía rectal. Sin embargo, existen termómetros infrarrojos que permiten medir la temperatura del animal sin contacto, es decir, medir la temperatura a distancia.

En función del funcionamiento de los termómetros que realizan una medida electrónica³³, entre los que no se incluye el termómetro líquido, se puede realizar la siguiente clasificación:

- Dispositivos que miden la temperatura a través de la variación de resistencia (termómetros de resistencia).
- Dispositivos que miden la temperatura por la fuerza electromotriz que generan (termopar).
- Dispositivos que miden la temperatura por el tipo de luz emitida (termómetros infrarrojos).

Algunos ejemplos de los distintos termómetros que se pueden encontrar en el mercado son los siguientes:

- Termómetro líquido³⁴ (Figura 23): Es el termómetro más tradicional que se ha empleado para medir la temperatura y contiene un líquido (mercurio) en su interior que se dilata al aumentar la temperatura, subiendo por el interior del tubo, y se contrae al disminuir.

³³ Ventura, V. (2016). *Medida electrónica de la temperatura*. Fuente: Polaridad. <https://polaridad.es/medida-electronica-temperatura-medir-termometro/>

³⁴ *Control de temperatura*. Fuente: Humeco. <http://www.humeco.net/productos/control-de-temperatura>

Su principal inconveniente es que el mercurio es una sustancia bastante tóxica³⁵ que tiene efectos graves tanto en la salud humana como en el medio ambiente, y en el caso de producirse una rotura, éste se evapora. En el ser humano su inhalación puede producir efectos nocivos sobre el sistema nervioso, digestivo e inmunitario, e incluso producir trastornos neurológicos y de comportamiento, y en el medioambiente el vapor de mercurio se fija en la atmósfera, en la cual se bioacumula, se volatiliza todavía más o se convierte en metilmercurio por la acción de los microorganismos. Como consecuencia se ha establecido el Convenio de Minamata sobre el Mercurio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), que entrará en vigor globalmente en 2020, prohibiendo la producción, importación y exportación de instrumentos que contengan mercurio (termómetros...)



Figura 23: Termómetro líquido. Fuente: Humeco

- Termómetro digital³⁴ (Figura 24): Es un termómetro de resistencia que se emplea habitualmente para la medición de la temperatura corporal de los animales por vía rectal, y también es el más común en la medición de la temperatura del ser humano. Este dispositivo contiene un detector resistivo de temperatura³³ (RTD), que permite determinar la temperatura en función de la variación de la resistividad producida en un metal cuando cambia de temperatura. Por lo tanto, si se produce aumento en la temperatura disminuye la velocidad de los electrones debido a que aumenta su agitación térmica, y con ello aumenta la resistencia.



Figura 24: Termómetro digital. Fuente: Humeco

³⁵ *El mercurio queda prohibido.* Fuente: Organización Meteorológica Mundial. https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/Flyers/Mercury-Flyer_es.pdf

- Termómetro digital con sonda³⁴ (Figura 25): Este termómetro es digital como el anterior, diferenciándose en que utiliza un termopar, el cual aprovecha un fenómeno termoeléctrico llamado efecto termoeléctrico³³ para determinar la temperatura. Por lo tanto, cuando entran dos metales diferentes en contacto con distinta temperatura se produce una fuerza electromotriz, que depende de la diferencia de la temperatura. Sin embargo, el valor de la temperatura no se obtiene directamente conociendo la diferencia de potencial de la fuerza electromotriz, sino que es necesario realizar un cálculo, para lo cual se emplean circuitos integrados especializados que son capaces de gestionar la pequeña tensión producida (microvoltios) y realizar el cálculo de la temperatura con ella.



Figura 25: Termómetro digital con sonda. Fuente: Humeco

- Termómetro de infrarrojos³⁴ (Figura 26): Es un dispositivo que mide la temperatura a través de la radiación luminosa sin necesidad de entrar en contacto con el objeto (en este caso con el animal), también denominado pirómetro óptico. Se basa en una termopila³³ (varios termopares conectados en serie) que se dispone entre una superficie muy sensible a la radiación luminosa del tipo negro y otra superficie capaz de disipar el calor, colocando una lente delante de la superficie negra para concentrar la radiación que procede del ángulo de visión establecido por el pirómetro, el cual emite una luz tipo láser para establecer mejor el punto de medición. Dicha lente contiene un filtro con la finalidad de detectar únicamente la radiación infrarroja, que es la más relevante para deducir los cambios de temperatura, y evitar interferencias con la luz visible.



Figura 26: Termómetro infrarrojos. Fuente: Humeco

➤ **Cámaras térmicas:**

La termografía es una técnica que se basa en la captación de la radiación de tipo infrarroja que emiten y reflejan los animales³⁶. Al realizar una fotografía termográfica se obtiene una imagen que representa la temperatura superficial del animal, y cada región del animal que es captada por la cámara emite una radiación infrarroja diferente que es interpretada como un color acorde a una banda de distintas tonalidades asociadas a las variaciones de temperatura.

El funcionamiento de una cámara térmica³⁷ se basa en que todos los cuerpos por encima del cero absoluto (-273°C) emiten radiación infrarroja, es decir calor, y por ello, cuanto mayor es la radiación emitida mayor será la temperatura del cuerpo. La longitud de onda de los infrarrojos se sitúa entre la luz visible y la radiación de microondas, y en concreto la longitud de onda de los infrarrojos se sitúa entre 0,7 y 1000 micras. Dentro de este rango, las cámaras térmicas trabajan en el rango del infrarrojo térmico.

Las cámaras disponen de un sensor térmico que se denomina microbolómetro, el cual al recibir la radiación infrarroja se calienta y se produce un cambio en la resistencia eléctrica. Este cambio se mide y se compara a una determinada temperatura, asignando un color a cada temperatura y formando una imagen de colores que se mostrará en la pantalla de la cámara.

Este tipo de cámaras se pueden utilizar en el ámbito industrial (niveles de depósitos, reacciones químicas peligrosas...), en la construcción (fugas de calor, humedades...), en seguridad (observación de fauna salvaje, investigación...) y en medicina y veterinaria (detección de la temperatura corporal).

Actualmente en el mercado existen bastantes tipos de cámaras térmicas, entre las que se pueden encontrar las siguientes:

- Cámara térmica EC060 V³⁸ (Figura 27): El funcionamiento de esta cámara se basa en un sensor térmico que lleva incorporado en su interior, el cual detecta la radiación infrarroja del cuerpo que se pretenda medir y genera una imagen de colores en función de la temperatura. Estas imágenes quedan almacenadas para su posterior tratamiento con un software que permita interpretar los resultados. Además, presenta una tecnología que permite visualizar las imágenes en tiempo real, tanto reales como térmicas, e incluso superponerlas para facilitar la interpretación de los resultados.

³⁶ Del Carmen Rodríguez, P., Sánchez Matamoros, A., Carvajal Valilla, J., Blanco Murcia, J., y Sánchez-Vizcaíno, J.M. (2008). *Aplicación de la termografía en el estudio de la ubre de los grandes rumiantes y en sus posibles complicaciones patológicas*. ISSN: 1988-2688; RCCV Vol. 2 (2).

³⁷ *Cámara Termográfica: Cómo funcionan y por qué pueden ser necesarias*. (2018). Fuente: Promax. <http://www.promax.es/esp/noticias/400/camara-termografica-como-funcionan-y-por-que-pueden-ser-necesarias>

³⁸ *Cámara térmica EC060V*. Fuente: TROTEC. <https://www.trotec24.es/medidores/temperatura/camara-termografica/camara-termografica-de-ec060-v.html?rc=b78166a8b3>



Figura 27: Cámara térmica EC060. Fuente: Trotec24

- Cámara térmica AC080V³⁹ (Figura 28): Este dispositivo presenta un sensor térmico que funciona de la misma manera que la cámara anterior. Por lo tanto, permite observar las imágenes reales y térmicas en tiempo real y almacenarlas para su posterior interpretación. Se diferencia del modelo anterior en que lleva incorporado un GPS que permite la obtención de datos de localización en cualquier momento.



Figura 28: Cámara térmica AC080V. Fuente: Trotec24

- Cámara termográfica Compact XR⁴⁰ (Figura 29): Esta cámara tiene el mismo funcionamiento que las anteriores, debido a que incorpora un sensor térmico, y solamente se diferencia en la necesidad de conectarla a un smartphone o tablet y descargar la aplicación correspondiente para su funcionamiento.



Figura 29: Cámara termográfica Seek Compact XR. Fuente: Seek thermal.

³⁹ Cámara térmica AC080V. Fuente: TROTEC. <https://www.trotec24.es/medidores/temperatura/camara-termografica/camara-termografica-ac080v.html?rc=b78166a8b3>

⁴⁰ Cámara termográfica avanzada; Cámara Compact XR. Fuente: Seek Thermal. <https://www.thermal.com/compact-series-es.html>

➤ **Bolos o termobolos**

Los bolos o termobolos sirven para medir la temperatura corporal del animal y el movimiento ruminal. Para la medición del movimiento ruminal se monitoriza el pH del rumen, permitiendo detectar enfermedades metabólicas, como puede ser la acidosis ruminal subclínica.

En general, estos dispositivos llevan incorporados un sensor de pH y un sensor de temperatura⁴¹, los cuales transmiten la información obtenida en el rumen del animal de forma inalámbrica hasta un ordenador o teléfono móvil, y se encuentran incorporados en una carcasa de material termoplástico.

- El sensor de pH es un dispositivo que emplea materiales dieléctricos como el dióxido de silicio (SiO_2), nitruro de silicio (Si_3N_4), trióxido de aluminio (Al_2O_3), entre otros, con la finalidad de generar el mecanismo de respuesta adecuado cuando se encuentra en el ambiente del rumen. Cuando el dieléctrico entra en contacto con un electrolito (ambiente del rumen), las características electroquímicas del sensor se ven afectadas por la actividad iónica del electrolito, generándose un potencial de energía entre el dieléctrico y el electrolito de la solución. El sistema de detección, además del sensor de pH, requiere un electrodo de referencia con celda de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) para obtener un potencial electroquímico proporcional al pH.
- El sensor de temperatura es un dispositivo integrado de precisión, en el cual la tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura en °C.
- La transmisión inalámbrica se basa en la utilización de un sistema Arduino, que es una plataforma de hardware libre que contiene una placa con un microcontrolador y una serie de pines-hembra, los cuales se encuentran unidos internamente a los terminales de entrada/salida de dicho microcontrolador. Este microcontrolador tiene la función de enviar y recibir datos mediante una interfaz de comunicaciones de datos digitales a un módulo, es decir, a un dispositivo que integra un transmisor-receptor de un protocolo de comunicaciones inalámbrico y un procesador.

Algunos ejemplos de bolos o termobolos empleados para la medición de la temperatura y el pH que existen en el mercado son los siguientes:

- Termobolo San'Phone⁴² (Figura 30): Este dispositivo se encarga de medir la temperatura del rumen a través de un sensor de temperatura que lleva incorporado, el cual transmite los cambios de temperatura en el rumen de forma inalámbrica a un ordenador o dispositivo móvil a través de un sistema Arduino,

⁴¹ Pedro J. García R., Antonio Hernández B., Héctor Díaz D., Arabia D. Zamora P., Joel Molina R., Belisario Domínguez M., Patricia Cervantes A., Adalberto Tejeda M., Alfonso C. García R., Sergio Vergara L., y Alma N. Ibarra M. (2015). *Diseño de un sistema de comunicación inalámbrica para ser usado en el monitoreo de temperatura y pH del rumen de bovinos*. El Agro Veracruzano 2015, Vol. II.

⁴² ¿Cómo prevenir la salud de su ganado mediante sistemas de monitorización? Fuente: Humeco. <http://www.humeco.net/noticias/como-prevenir-salud-ganado-sistemas-monitorizacion>

según el funcionamiento explicado anteriormente. Se introduce con un aplicador en el rumen del animal, donde permanece de por vida.



Figura 30: Termobolo San'Phone. Fuente: Humeco

- Bolo veterinario de pH ruminal Moonsyst⁴³ (Figura 31): Este dispositivo se encarga de medir el pH del rumen y la temperatura a través de los sensores que lleva incorporados, los cuales transmiten los datos de pH y temperatura en tiempo real de manera inalámbrica a un sistema receptor, donde se pueden observar para detectar posibles trastornos ruminales, y con ello controlar la alimentación.



Figura 31: Bolo veterinario de pH ruminal Moonsyst. Fuente: Agriexpo

- Bolo veterinario de pH ruminal smaXtec⁴⁴ (Figura 32): Este bolo ruminal permite medir el pH y la temperatura del rumen a través de los sensores que incorpora, los cuales transmiten las mediciones de forma inalámbrica en tiempo real a un sistema receptor.



Figura 32: Bolo veterinario de pH ruminal telemétrico smaXtec. Fuente: Agriexpo

⁴³ Bolo veterinario de pH Moonsyst. Fuente: Agriexpo. <http://www.agriexpo.online/es/prod/moonsyst-industrial-technologies-ltd/product-172172-105859.html>

⁴⁴ Bolo veterinario de pH smaXtec. Fuente: Agriexpo. <http://www.agriexpo.online/es/prod/smaxtec-animal-care-gmbh/product-172514-9493.html>

- Bolo veterinario de temperatura y pH eBolus⁴⁵ (Figura 33): Es un dispositivo telemétrico inalámbrico que lleva incorporados unos sensores de pH y temperatura, como los bolos anteriores, para transmitir los datos obtenidos en tiempo real a un sistema receptor.

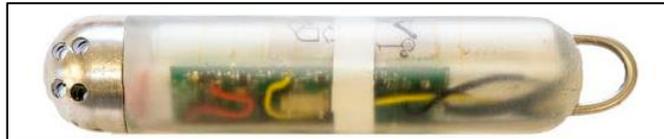


Figura 33: Bolo veterinario de temperatura y pH eBolus (eCow). Fuente: Agriexpo

➤ Fonendos

Se denominan también estetoscopios, y se utilizan para medir el ritmo cardíaco y respiratorio de los animales. Existen los fonendos o estetoscopios tradicionales⁴⁶ (Figura 34) que se han utilizado habitualmente para la auscultación, a través de los cuales se escuchan directamente los latidos o las respiraciones para realizar un recuento de ellos, y así obtener el ritmo cardíaco y el respiratorio.



Figura 34: Fonendoscopio o estetoscopio tradicional. Fuente: Humeco.

En la actualidad, existen fonendoscopios o estetoscopios electrónicos⁴⁷ (Figura 35), que permite realizar una auscultación rápida y sencilla del animal, midiendo la frecuencia cardíaca y el ritmo respiratorio a través de unos auriculares.

El funcionamiento de un estetoscopio electrónico se basa en el empleo de un transductor piezoeléctrico⁴⁸, que permite transformar vibraciones en señales eléctricas. También está compuesto por medios de filtrado, medios convertidores de señales analógicas a digitales (A/D) y de señales digitales a analógicas (D/A), medios de amplificación, medios de tratamiento, una cámara acústica y un canal de sonido que se

⁴⁵ Bolo veterinario de temperatura y pH telemétrico eBolus. Fuente: Agriexpo. <http://www.agriexpo.online/es/prod/ecow-ltd/product-171548-14420.html>

⁴⁶ *Fonendoscopio 3M Littman classic II*. Fuente: Humeco, Diagnóstico. <http://www.humeco.net/producto/fonendoscopio-3m-littman-classic-ii>

⁴⁷ *Estetoscopio veterinario electrónico eKuore Vet kit básico*. Fuente: eKuore. <https://www.ekuore.com/es/producto/ekuore-fonendoscopio-electronico-inalambrico/>

⁴⁸ Sorlander, M., Herer, T.M., y Heerah, A. (2012). *Monitor acústico*. Oficina Española de Patentes y Marcas, Publicación ES 2 379 478 T3.

abre a la cámara acústica a través de una abertura que conecta el canal de sonido con el aire ambiente. Por lo tanto, el sonido es captado por un micrófono (transductor piezoeléctrico) que se encuentra unido al canal acústico, y se genera una carga eléctrica, la cual es amplificada para transformarla en una señal eléctrica. La información obtenida se puede visualizar desde un dispositivo móvil de manera inalámbrica a través de la tecnología bluetooth que lleva incorporada el estetoscopio.



Figura 35: Estetoscopio electrónico. Fuente: Ekuore

➤ Collares de rumia y actividad

Los collares de rumia y actividad permiten medir los movimientos de los animales, además de monitorizar la frecuencia de rumia, con la finalidad de obtener una aproximación del consumo de alimento²³.

El funcionamiento de un collar de rumia y actividad se basa en la incorporación de un sensor de movimiento, un microprocesador, una memoria y un micrófono desarrollado para la detección de los tiempos de rumia, el ritmo de masticación y el tiempo transcurrido entre bolos alimenticios que pasan por el esófago⁴⁹. Los datos obtenidos son almacenados a través una tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID).

La RFID⁵⁰ es un método de almacenamiento y recuperación remota de datos que se compone de cuatro elementos fundamentales; una etiqueta RFID, un lector o interrogador, un controlador y un software de gestión. La etiqueta RFID es un circuito integrado en el que se encuentran los componentes mencionados anteriormente para la detección de los datos sobre comportamiento del animal y la actividad, que posteriormente son envía al lector o interrogador. Este lector está compuesto por un módulo de radiofrecuencia que sirve de receptor y de transmisor, una unidad de control y una antena para leer las etiquetas RFID, y a través de interfaces de comunicación envían los datos recibidos al controlador, el cual se corresponde con un ordenador o dispositivo móvil. Por último, los datos son tratados por un software que se encarga de recoger, filtrar y manejar la información

⁴⁹ Chiavassa, C. (2012). *Collares que detectan actividad y rumia*. Sitio Argentino de Producción Animal; Grupo Chiavassa.

⁵⁰ Portillo García, J.I., Bermejo Nieto, A.B., y Bernardos Barbolla, A.M. (2008). *Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID: aplicaciones en el ámbito de la salud*. Informe de Vigilancia Tecnológica.

La monitorización de la actividad y la rumia con este tipo de sistema nos permite detectar picos y caídas en las mismas, y con ello detectar problemas sanitarios, alteraciones nutricionales, trastornos metabólicos, estrés, e incluso celo. Por lo tanto, existen collares que sirven tanto para la medición de la rumia como para la detección del celo.

Algunos ejemplos de collares de rumia y actividad que se pueden encontrar en el mercado son los siguientes:

- Collar de rumia y actividad Alta Cow Watch⁵¹ (Figura 36): Su funcionamiento se basa en la tecnología RFID, mediante la detección del comportamiento del animal y su actividad con un sensor de movimiento y un micrófono, transmitiendo los datos obtenidos a un ordenador para su visualización e interpretación. Además, el sistema permite generar alertas en el caso de que un animal se encuentre en celo o presente cambios de comportamiento que puedan generar problemas sanitarios.



Figura 36: Collar de rumia y de actividad Alta Cow Watch. Fuente: Ciale Alta

- Collar de rumia y actividad Moo Monitor+⁵² (Figura 37): El funcionamiento de este collar es el mismo que en el dispositivo anterior, es decir, se basa en la tecnología RFID para obtener los datos sobre el comportamiento de la rumia y la actividad del animal, y así detectar posibles trastornos alimenticios y el celo.



Figura 37: Collar de rumia y de actividad Moo Monitor+. Fuente: Daviesway

⁵¹ Alta Cow Watch; *Repro – Health – Welfare; Accurate Heat Detection with Health Monitoring*. Fuente: Alata Ciale. http://australia.altagenetics.com/wp-content/uploads/sites/5/2018/08/20170601-Alta_Cow-Watch-Brochure_Australia_LR.pdf

⁵² Dairy solutions; *Moo Monitor+*. Fuente: Daviesway. <https://www.daviesway.com.au/dairy-solutions/farm-monitoring-systems/moomonitor-cow-electronic-heat-detection-animal-health-monitoring>

- Collar de rumia y actividad Afimilk Silent Herdsman⁵³ (Figura 38): Este dispositivo presenta el mismo funcionamiento que los anteriores. Por lo tanto, a través de radiofrecuencia envía los datos detectados por los sensores a un controlador para su posterior tratamiento e interpretación.

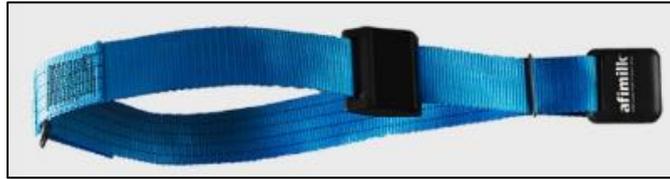


Figura 38: Collar de rumia y de actividad Afimilk Silent Herdsman. Fuente: Afimilk

- Collar de rumia y actividad Tags SCR Heatime HR-LD⁵⁴ (Figura 39): Es un sistema por radiofrecuencia que permite realizar mediciones sobre la rumia y detectar el celo a través de un sensor de movimiento que mide los movimientos del animal y su intensidad, y de un micrófono que registra la rumia. Posteriormente, la información obtenida es enviada por tecnología RFID a un ordenador.



Figura 39: Tecnología Tags SCR Heatime HR-LD (SCR by Allflex). Fuente: SCR Dairy

➤ Otros sistemas tecnológicos

Existen otros tipos de sistemas en el mercado que permiten realizar una monitorización de las variables fisiológicas de los animales, como pueden ser los siguientes:

- Quantified AG⁵⁵ (Figura 40): Este dispositivo es una etiqueta que contiene un sensor de temperatura y un acelerómetro que mide el movimiento del animal, y funciona a través de un sistema inalámbrico por radiofrecuencia. Por lo tanto, una vez detectados los datos de temperatura y movimiento, la etiqueta los envía en tiempo real a un lector que los transmite al ordenador para ser tratados y analizados por un software.

⁵³ *Silent Herdsman Neck Collar; How does Silent Herdsman work?* Fuente: Afimilk. <https://www.afimilk.com/products/cow-monitoring/afimilk-silent-herdsman-leading-neck-collar-fertility-management-system>

⁵⁴ *Tags SCR Heatime® HR; Los tags definitivos en tiempo real para la reproducción y el monitoreo de la salud de las vacas.* Fuente: SCR by Allflex. <http://www.es.scrdairy.com/index.php/cow-intelligence/tecnologia.html>

⁵⁵ *Quantified Ag® Tag.* Fuente: Quantified AG. <https://quantifiedag.com/cattle-production/>

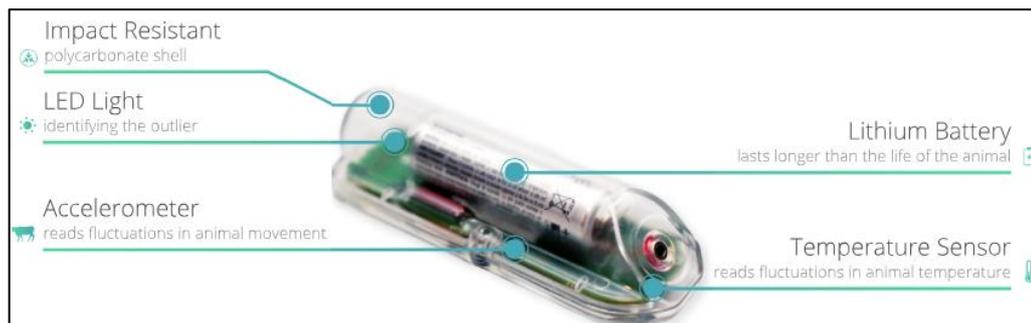


Figura 40: Etiqueta Quantified AG. Fuente: Quantified AG

- Píldora Vital Herd⁵⁶ (Figura 41): Este sistema de monitorización se basa en la colocación de una píldora electrónica, que contiene sensores para la medición de la temperatura, el ritmo cardíaco y la frecuencia respiratoria, en el rumen del animal. Los datos obtenidos por los sensores son transmitidos de forma inalámbrica por radiofrecuencia a un lector para que los transfiera a un ordenador, donde son almacenados y tratados por un software, y de esta manera obtener resultados que permitan detectar posibles enfermedades en los animales.



Figura 41: e-píldora Vital Herd. Fuente: Vital Herd

- Smartbow⁵⁷ (Figura 41): Es un dispositivo que se coloca en la oreja de la vaca para la monitorización de la rumia y la actividad del animal, permitiendo detectar problemas sanitarios e incluso la detección del celo.



Figura 42: Dispositivo Smartbow. Fuente: Smartbow

⁵⁶ *Our solution; The VitalHerd™ solution.* Fuente: Vital Herd Smart Management. <http://www.vitalherd.com/>

⁵⁷ *El sistema más avanzado de monitoreo de vacas lecheras.* Fuente: Smartbow. <https://www.smartbow.com/es/home.aspx>

El funcionamiento de este dispositivo se basa en la radiofrecuencia, presentado tres componentes; etiqueta RFID, receptor y servidor. La etiqueta se encarga de recoger los datos de monitorización a través de los sensores que lleva incorporados, y los envía al receptor. Posteriormente, el receptor los envía al servidor para ser analizados y crear alertas en tiempo real si se detecta algún problema, que son enviadas a un ordenador o dispositivo móvil.

- Dispositivo subcutáneo EmbediVet⁵⁸ (Figura 43): Es un sistema tecnológico que se implanta en el cuerpo del animal (normalmente en el cuello) de manera subcutánea a través de una intervención quirúrgica con anestesia local. Su funcionamiento se basa en la tecnología RFID, es decir, el dispositivo lleva incorporados unos sensores que obtienen información sobre la masticación, la temperatura y la actividad de los animales, la cual es transmitida por radiofrecuencia a un lector o sistema receptor. Por último, el receptor envía la información a un controlador, donde es analizada por un software para su interpretación, y así detectar posibles trastornos o enfermedades en el animal.



Figura 43: Dispositivo subcutáneo EmbediVet. Fuente: MIT Technology Review

- Chip de producción⁵⁹ (Figura 44): Es una etiqueta que se coloca en la oreja del animal, que incorpora dos termómetros y dos acelerómetros, para la monitorización de la actividad física, los períodos de alimentación y rumia, y la temperatura en tiempo real. Los datos obtenidos de monitorización son captados por tres routers colocados en la explotación que funcionan por radiofrecuencia y enviados a Holanda, donde son procesados a través de un software. Por lo tanto, el análisis de los datos permite reconocer que animales están listos para ser inseminados y cuales están enfermos o no se alimentan bien, mediante gráficos que faciliten la visualización de la información obtenida.

⁵⁸ Mezt, Rachel. (2018). *Subcutaneous Fitbits? These cows are modeling the tracking technology of the future*. Fuente: MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/s/611144/cyborg-cows-are-coming-to-a-farm-near-you/>

⁵⁹ Cordero Sancho, M. (2016). *Conectan vacas a internet para producir más leche*. Fuente: Forbes. <https://www.forbes.com.mx/conectan-vacas-a-internet-para-producir-mas-leche/>



Figura 44: Chip de producción colocado en la oreja del animal. Fuente: Forbes México

- Etiqueta TekSensor⁶⁰ (Figura 45): Este dispositivo es una etiqueta electrónica que se coloca en la oreja del animal y contiene un termómetro electrónico (termistor), una batería y un sistema de radio con una antena. El termómetro se encuentra precalibrado, realizando la medición en grados Fahrenheit, y está protegido del clima por la cera que produce el oído del animal, la cual sirve de sello natural. Por lo tanto, la parte electrónica de la etiqueta, que contiene el termómetro, queda dentro del canal auditivo, y la batería y el sistema de radio queda dentro de la etiqueta.



Figura 45: Etiqueta TekSensor. Fuente: Tekvet Technologies.

La información registrada correspondiente a la temperatura del animal se transmite a los receptores colocados en la explotación a través de radiofrecuencia, y un concentrador recopila la información de dichos receptores. Este concentrador se conecta a la red a través de internet y permite visualizar y analizar la información en un ordenador mediante un software.

⁶⁰ *Installation of the TekSensor tag in livestock.* (2007-2008). Fuente: TekVet Technologies http://www.tekvet.com/low/_mgxroot/page_10744.html

SENSORES DE ACTIVIDAD

La actividad que realizan los animales es una de las variables más importantes debido a que una disminución en dicha actividad es uno de los síntomas principales de enfermedad. Por ejemplo, cuando una vaca tiene mamitis producida por endotoxinas, la actividad va a variar según el estado de la enfermedad; en la fase aguda de la enfermedad los signos clínicos en la ubre progresan y son más evidentes, por lo que las vacas pasan menos tiempos echadas por la incomodidad y el dolor, y sin embargo antes de esta fase las vacas descansan más de lo normal. Además, la fiebre reduce el tiempo que la vaca pasa rumiando²³.

Hay distintas tecnologías para medir la actividad en los animales, siendo la más frecuente la utilización de podómetros. Otros sistemas tecnológicos que se pueden emplear para ello son los collares de actividad, los cuales se han explicado anteriormente porque dichos collares sirven tanto para la detección de la actividad como para la detección del movimiento ruminal.

La monitorización de la actividad del animal sirve también para detectar posibles cojeras si se observan cambios en la marcha del animal. En el caso de las vacas lecheras, en las que es más común que se produzcan las cojeras, existen sensores basados en una pasarela por la que los animales pasan y, automáticamente y en tiempo real, recogen la información que se necesita para saber si un animal está sano o presenta una cojera leve o severa.

En general, estas tecnologías permiten detectar posibles enfermedades en los animales, en base a que su nivel de actividad sea mayor o menor, y así poder actuar adecuadamente con el tratamiento que el animal necesita. También permiten detectar si una vaca se encuentra en celo, siendo por ello una aplicación bastante importante desde el punto de vista de la eficiencia reproductiva, y que posibilita la utilización de la inseminación artificial en el momento óptimo, si ésta es la técnica de reproducción que se emplea en la explotación o que puede resultar más útil en una determinada situación.

Algunos ejemplos de sensores de actividad, y más específicamente de podómetros, que se pueden encontrar en el mercado son los siguientes:

- Podómetros AfiTag⁶¹ (Figura 45): Son dispositivos electrónicos que se colocan en la pata del animal como si fuera una pulsera para medir su actividad. Su funcionamiento se basa en la incorporación de un sensor de movimiento, el cual mide las tendencias en el comportamiento de la actividad del animal y los tiempos de descanso e inquietud. Los datos obtenidos se envían a través de radiofrecuencia a un sistema receptor y, posteriormente, se envía a una base de datos para ser analizados por un software. Esta tecnología permite detectar el celo y períodos de anoestro, e incluso casos de abortos.

⁶¹ *Podómetros AfiTag*. Fuente: Afimilk, Vital know-how in every drop. <https://www.afimilk.com/es/products/cows/sensors/afitag-pedometers>



Figura 46: Podómetros AfiTag. Fuente: Afimilk

- Sistema Legend⁶² (Figura 47): Es un sistema de detección de celos radio-telemétrico, es decir, un sistema que emplea la tecnología por radiofrecuencia. Se compone de un podómetro, el sistema de recepción y el software.



Figura 47: Podómetro Legend y Sistema de recepción. Fuente: Legend connecting to cows

El podómetro se coloca en la pata del animal para monitorizar su actividad y presenta un sistema de telemetría que transmite en tiempo real los datos registrados al sistema de recepción, el cual se compone de antenas, un receptor y una caja de conexión entre el receptor y el controlador. Los datos son procesados en el controlador por un software que proporciona reportes y gráficos para la observación de la actividad del animal, y con ello, detectar si está o no en celo.

SISTEMAS EN EL MANEJO DE LA REPRODUCCIÓN

La reproducción es uno de los aspectos más importante en las explotaciones de vacuno de carne, y de cualquier otro tipo de explotación, que depende de distintos factores⁶³ como la fertilidad de la vaca, la fertilidad del toro, la eficiencia de detección de celo y eficiencia de inseminación o monta natural.

- La fertilidad de la vaca está influenciada principalmente por la edad, siendo las novillas y las vacas de segunda lactancia más fértiles que las vacas de primera lactancia y las vacas adultas. Otros factores que influyen en la fertilidad son la nutrición, la ausencia de enfermedades reproductivas y la ausencia de problemas en el parto.

⁶² Sistema de detección de celo. Fuente: Legend connection to cows <http://www.legendconnect.com/es/products/sistema-de-detecci%C3%B3n-de-celo>

⁶³ Manejo de la eficiencia reproductiva. Fuente: Infocarne. http://www.infocarne.com/bovino/funcion_reproductiva.asp

- La fertilidad del toro está relacionada con la circunferencia testicular y suele variar según factores como la edad y la madurez sexual, una nutrición adecuada y las enfermedades de transmisión sexual. Si se realiza inseminación artificial, la fertilidad del toro va a depender de la dilución del semen, procesado, almacenamiento y manejo en el momento de la extracción y de la inseminación.
- La eficiencia en la detección del celo es importante y comprende el nivel de detección y la exactitud de la detección. Ésta última puede ser baja debido a que el ganadero no realiza la identificación correcta de la vaca en celo, e incluso lo detecta correctamente, pero se equivoca a la hora de identificar la vaca o registrar la fecha en la que ha ocurrido el celo.
- La eficiencia en la inseminación suele ser casi del 100% cuando en la monta natural se utiliza un toro sano, y en el caso de inseminación artificial depende de factores como la determinación del momento correcto para la inseminación, manejo correcto del semen congelado y depósito del semen en la entrada del útero de manera precisa.

La detección del celo para un correcto manejo de la reproducción⁶⁴ requiere de una observación visual en el comportamiento de las vacas, siendo algunos de los signos principales el nerviosismo general, el olfateo de la vulva de otros animales, la vulva se observa rosada e inflamada con desprendimiento de un moco blanco, la vaca permanece inmóvil cuando es montada, etc. Sin embargo, en algunas ocasiones no se llega a detectar el celo debido a que la vaca puede tener un celo sin síntomas externos por diferentes motivos, como que el ciclo estral no se ha reestablecido después del parto, la vaca se encuentre en anoestro por una nutrición deficiente, problemas tras el parto o infecciones en el aparato reproductor, presencia en la vaca de un ovario quístico, fallos en la detección del celo por parte del ganadero, e incluso que la vaca esté preñada.

En el manejo de la reproducción también es importante la detección del parto porque se pueden producir partos distócicos, y en ese caso es necesaria la asistencia por parte del ganadero o del veterinario con el objetivo de que tanto el ternero como la vaca estén vivos después del parto, y que si se produce alguna complicación se pueda realizar el tratamiento oportuno para evitar la muerte de ambos.

Los indicadores que marcan la inminencia del parto⁶⁵ son importantes de conocer porque se utilizan en el desarrollo de tecnologías que permiten detectarlo de manera automática. Los signos que se presentan en una vaca se pueden agrupar por tiempos, siendo los siguientes:

- De 2 a 3 semanas antes del parto: Aparecen signos como la relajación de los ligamentos pélvicos, la edematización de la vulva y la hinchazón de la ubre, el aumento de la segregación vaginal y expulsión del tapón mucoso al acercarse el parto, y la presencia de calostro.

⁶⁴ *Manejo reproductivo del ganado bovino.* Fuente: Infocarne. http://www.infocarne.com/bovino/manejo_reproductivo_ganado_bovino.htm

⁶⁵ Ruata, R., Taverna, M., Galarza, R., Walter, E. y Ghiano, J. (2015). *Alarma de partos en vacas. Un desarrollo nacional.* INTA ediciones

- De 2 a 6 horas antes del parto: Aparecen signos como el incremento de la temperatura corporal (aumenta los últimos tres días de gestación y disminuye el día del parto), la torsión del abdomen y el levantamiento de la cola, las vacas se echan y se levantan de forma repetida, y la expulsión de la bolsa indicando que el parto se va a producir en las dos horas posteriores.

Por lo tanto, la utilización de tecnologías que detecten el celo o el parto son bastante útiles para una buena gestión en la reproducción del vacuno en extensivo, siendo la clave para incrementar la eficiencia y la exactitud en la reproducción.

Además de estos sistemas de detección, también puede resultar interesante el empleo de métodos de diagnóstico de gestación como la ecografía, y así comprobar que la vaca está preñada. Tradicionalmente el diagnóstico de la gestación se ha realizado a través del tacto rectal realizado por un veterinario, pero el empleo de ecógrafos es más preciso en el diagnóstico y se puede realizar de forma más temprana. Esta práctica en el manejo de la reproducción es importante para saber si una vaca está preñada, ya que en el caso de que no lo esté, el ganadero pueda tomar la decisión más acertada para la gestión de la reproducción en la explotación.

➤ **Ecógrafos**

La ecografía es una técnica de diagnóstico por imagen⁶⁶ en la que se emplea ondas de sonido de alta frecuencia para producir imágenes de los tejidos blandos y órganos internos, los cuales se pueden visualizar a través de la pantalla del ecógrafo. Su principio básico es el empleo de ondas de alta frecuencia, las cuales tienen una unidad de medida de Megahercios (MHz), siendo 1 MHz igual a 1.000.000 ondas de sonido por segundo.

El ecógrafo se compone fundamentalmente de una consola y un transductor. La consola está integrada por los mandos, el monitor y el teclado, y en su interior se encuentran los mecanismos que transforman las señales eléctricas procedentes del transductor en imágenes que se visualizan en la pantalla. El transductor contiene un gran número de cristales piezoeléctricos pequeños que se encargan de producir una emisión de ondas (ultrasonidos), cuando su vibración pasa por la corriente eléctrica, y transmitir dichas ondas en distintos ángulos e intensidad a través de los tejidos.

Por lo tanto, la ecografía se fundamenta en el principio impulso-eco (emisión de ultrasonidos y la recepción de ecos), de tal manera que los ultrasonidos circulan a través de los tejidos a una velocidad constante hasta que se encuentran una superficie reflectante, la cual hace que parte de los ultrasonidos regresen a la fuente emisora produciendo ecos. Estos ecos tendrán una mayor intensidad cuanto mayor sea la reflexión, aunque habrá menos ultrasonidos que avancen por los tejidos y manden información.

La técnica de la ecografía en la reproducción del vacuno se utiliza cada vez más porque es un método de diagnóstico más preciso en la dinámica de las ondas foliculares,

⁶⁶ Tamayo Torres, M. (2004). *La ecografía como medio de diagnóstico y evaluación de los procesos reproductivos en el bovino*. Sitio Argentino de Producción Animal.

desarrollo del cuerpo lúteo, la determinación del estado precoz de gestación, sexado de crías y la evolución de los problemas patológicos en el sistema reproductor, además de que su aplicación confirma o desestima la valoración que realiza el veterinario mediante tacto rectal.

Algunos de los ecógrafos que se pueden encontrar en el mercado para el ganado vacuno son los siguientes:

- Ecógrafo ProScan Bovino⁶⁷ (Figura 48): El funcionamiento de este ecógrafo se basa en el principio explicado anteriormente, es decir, en la emisión de ultrasonidos y la recepción de ecos, para la generación de imágenes de diagnóstico. Se emplea en el diagnóstico de la preñez y el sexaje, en la comprobación de la condición del útero y el feto, y en la medición de la grasa y el magro.



Figura 48: Ecógrafo ProScan Bovino y Teclado. Fuente: CVM Diagnóstico Veterinario.

- Ecógrafo Draminski iScan⁶⁸ (Figura 49): Se basa en la generación de imágenes de diagnóstico a través de ultrasonidos para realizar un diagnóstico de gestación y su control, del sistema reproductivo y de enfermedades reproductivas.



Figura 49: Ecógrafo veterinario portátil Draminski iScan. Fuente: Draminski

- Ecógrafo Draminski 4Vet mini⁶⁹ (Figura 50): El funcionamiento de este ecógrafo se basa en el mismo principio de impulso-eco explicado anteriormente para generar imágenes que permitan hacer un diagnóstico de la gestación y del sistema reproductor del animal, y así detectar posibles patologías reproductivas.

⁶⁷ ProScan Bovino. Ecógrafo para bovino. Máxima productividad. Fuente: CVM Diagnóstico Veterinario. <https://cvm.es/ecografia/ecografo-veterinario-animales-produccion-proscan-bovino.html>

⁶⁸ Ecógrafo veterinario portátil para animales pequeños y grandes iScan. Fuente: Draminski. <https://www.draminski.es/vet/ecografos/draminski-iscan/>

⁶⁹ Ecógrafo veterinario portátil para animales pequeños y grandes 4Vet mini. Fuente: Draminski. <https://www.draminski.es/vet/ecografos/draminski-4vet-mini-2/>



Figura 50: Ecógrafo portátil Draminski 4Vet mini. Fuente: Draminski

➤ Detectores de celo

En la detección del celo existe una gran variedad de métodos⁷⁰, desde métodos no automáticos como animales detectores, test de progesterona en leche, planilla de detección de celos, etc., hasta métodos automáticos, entre los que se pueden encontrar los collares de rumia y actividad y los podómetros explicados en apartados anteriores de este documento, y otros como los sistemas electrónicos de monta por radiofrecuencia y los sistemas basados en la impedancia eléctrica intravaginal o intravulvar.

Por lo tanto, algunos ejemplos de sistemas tecnológicos basados en la impedancia eléctrica y en la radiofrecuencia que se pueden encontrar en el mercado son los siguientes:

- Detector de estro Draminski⁷¹ (Figura 51): Esta tecnología es una sonda electrónica que permite detectar el momento del ciclo estral en el que aparece la ovulación.



Figura 51: Detector de estro vacuno Draminski. Fuente: Draminski

Su funcionamiento se basa en la impedancia eléctrica intravaginal o intravulvar⁷⁰, la cual se encuentra inversamente relacionada con la hidratación de los tejidos genitales. El aumento de la hidratación de los genitales está asociado al proestro, que es la fase anterior al estro o celo, siendo menor la hidratación en el diestro, que es la fase anterior al proestro. Por lo tanto, la impedancia eléctrica en el estro es menor, siendo detectada por los dos electrodos que incorpora la sonda para medir los cambios de resistencia eléctrica de la mucosa vaginal.

⁷⁰ Facundo Becaluba, M.V., y Mario Becaluba, H. (2006). *Nuevas tecnologías para el manejo de la detección de celo*. Sitio Argentino de Producción Animal.

⁷¹ *Detector de estro para vacas y yeguas*. Fuente: Draminski. <https://www.draminski.es/agri/detectores-de-estro/draminski-detector-de-celo-para-vacas-y-yeguas/>

- Celotor⁷² (Figura 52): Es un sistema de detección del celo que basa su funcionamiento en la tecnología por radiofrecuencia. Se encuentra compuesto por un chip inyectable, un cinturón lector y un collar maestro. El chip inyectable lleva incorporado un sensor-transmisor de presión y se encuentra programado con la identificación del animal, colocándolo en la base de la cola. Este chip es detectado por el cinturón lector que se coloca en el toro cuando éste monta a la vaca que lleva dicho chip, identificándola y enviando la información por radiofrecuencia al collar maestro, el cual se coloca en una vaca de cada lote. Por último, este collar maestro transmite la información en tiempo real a un ordenador en el que visualizarla.



Figura 52: Celotor; Cinturón lector. Fuente: Celotor

- Mocall Heat⁷³ (Figura 53): El funcionamiento de este sistema se basa en la tecnología por radiofrecuencia y es similar al explicado anteriormente, diferenciándose en que éste utiliza señales auriculares RFID y un solo collar. Las señales auriculares RFID se colocan en todas las vacas del rebaño y el collar se coloca en un toro vasectomizado. Cuando el toro monta una vaca, la etiqueta RFID con la identificación correspondiente de la vaca es detectada por el collar de dicho toro, enviando una señal a un receptor. Éste transmite la información a un ordenador o a un dispositivo móvil, en los cuales se puede observar porque el dispositivo se encuentra integrado en la aplicación Mocall Breedmanager.



Figura 53: Sistema Mocal Heat; Collar y señales auriculares. Fuente: Mocal

⁷² Detector de celo bovino. Fuente: Celotor. <http://www.celotor.com/es/celotor>

⁷³ Mocal Heat. Fuente: Mocal connecting you to your animals. <https://mocal.com/products/mocal-heat-1>

➤ Detectores de parto

En la detección del parto existen distintas tecnologías en base a su funcionamiento, teniendo fundamentalmente dispositivos que se basan en la medición de la temperatura vaginal y dispositivos que se basan en el movimiento de la cola. También se podrían utilizar para la detección dispositivos explicados en apartados anteriores como los podómetros y los collares de rumia⁶⁵. En el caso de los podómetros se podría detectar el parto a través de la actividad de la vaca porque su comportamiento cambia al llegar el parto, produciéndose una torsión del abdomen, levantamiento de la cola y frecuentes cambios de posición, y en el caso de los collares de rumia se ha detectado que el día del parto, el tiempo de rumia desciende significativamente (255 minutos/día con respecto al promedio) y se normaliza en los días posteriores, por lo que esta disminución de la rumia se puede utilizar para la detección del parto.

Algunos ejemplos de sistemas basados en la temperatura vaginal y el movimiento de la cola que se pueden encontrar en el mercado son los siguientes:

- Dispositivo Vel'Phone⁷⁴ (Figura 54): Su funcionamiento se basa en la utilización de un termómetro introducido en la vagina de la vaca que se mantiene debido a los apéndices que incorpora. Este dispositivo se coloca en el animal 7 días antes del parto con la finalidad de medir continuamente la temperatura, y así detectar el momento en el que se va a producir el parto. Los datos de temperatura se envían por radiofrecuencia a una radio base GSM (Global System for Mobile Communications), la cual transmite alertas a un ordenador o dispositivo móvil.



Figura 54: Base Medria y Termómetro vaginal Vel'Phone. Fuente: Humeco

El ciclo de uso del dispositivo⁷⁵ es el siguiente; colocación del termómetro en la vagina, subida de la temperatura, variación característica de la temperatura de la vaca (desciende el día del parto), expulsión del termómetro con la bolsa de agua e inicio del parto. Las alertas se establecen en el momento de activación del termómetro, 48 horas antes del parto y en el momento de expulsión del dispositivo.

- Sistema Moocall Calving Sensor⁷⁶ (Figura 55): El funcionamiento de este dispositivo colocado en la cola de la vaca se basa en la incorporación de un

⁷⁴ *Tecnología para la detección de partos en las vacas.* (2018). Fuente: Humeco. <http://www.humeco.net/noticias/tecnologia-para-la-deteccion-de-partos-en-las-vacas>

⁷⁵ *Vel'Phone, Service de détection du vêlage.* Fuente: Medria Solutions. <http://www.medria.fr/solutions/velphone/>

⁷⁶ *Moocall Calving Sensor.* Fuente: Moocall connecting you to your animals. <https://moocall.com/collections/sensors/products/moocall-sensors>

acelerómetro que mide el movimiento de la cola producido por las contracciones. Este sistema permite detectar el mayor momento de actividad de la cola, correspondiéndose con el comienzo del parto, y envía alertas con la información de la actividad a un sistema receptor, el cual las transmite de tres formas distintas; mensaje de texto a un dispositivo móvil, correo electrónico y a través de una aplicación en el móvil.



Figura 55: Sistema Moocall Calving Sensor. Fuente: Moocall

- Sistema SmartVel⁷⁷ (Figura 56): El funcionamiento de este dispositivo es igual al explicado en el sistema anterior, es decir, se basa en el movimiento de la cola de la vaca a través de un acelerómetro que lleva incorporado. Se coloca en la cola del animal sujeto con un adhesivo y cuando detecta el levantamiento de la cola y la alternancia de movimientos de la vaca (parada, acostada) envía la información a un sistema receptor a través de radiofrecuencia, y éste transmite alertas en forma de llamada de voz y mensaje de texto a un dispositivo móvil.



Figura 56: Sistema SmartVel. Fuente: Ruata *et al.*, 2015.

- Sistema Alert'Vel⁷⁸ (Figura 57): Es un dispositivo en forma de pinza que se coloca en la cola de la vaca y su funcionamiento se basa en la incorporación de un sensor que detecta los movimientos de la cola para la detección del parto. La información obtenida es transmitida a un sistema receptor a través de tecnología por radiofrecuencia, el cual envía alertas a un dispositivo móvil para avisar de que se está produciendo el parto, y que el ganadero pueda estar presente.

⁷⁷ Sistema de detección de partos SmartVel. Fuente: Evolution international. <http://evolutioniberica.es/Media/evolutionibericaxy/Monitorizacion%20de%20la%20granja/SmartVel%20-%20Detector%20de%20Partos.pdf>

⁷⁸ Détecteur de vêlage Alert'Vel. Fuente: Agri Technologies. <https://www.agritechnologies.fr/nos-produits/d%C3%A9tecteurs-de-v%C3%AAlages/>



Figura 57: Sistema Alert'Vel. Fuente: Agri Technologies.

SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN

Tradicionalmente para conocer la ubicación del ganado en extensivo se colocaba a las vacas un cencerro en el cuello, pero en la actualidad se está utilizando otro tipo de tecnologías que permiten localizar a los animales desde casa, sin necesidad de desplazarse hasta el lugar en el que se encuentran pastando.

Las nuevas tecnologías de localización combinan el sistema de posicionamiento global (GPS) y el sistema de información geográfica (GIS), siendo este último una solución tecnológica que de manera visual nos permite capturar, analizar, gestionar e interpretar datos con un componente geográfico⁷⁹. El uso de estos collares para rastrear el movimiento de animales es muy común en estudios de la vida silvestre, y recientemente las tecnologías GPS y GIS se están utilizando para evaluar el comportamiento en el manejo del pastoreo del ganado con una mayor resolución espacial y temporal.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS- Global Positioning System)⁸⁰ ofrece la posibilidad de conocer en tiempo real la ubicación de una persona, animal, vehículo, etc., desde cualquier lugar porque permite conocer la posición y la altura. Este sistema está formado por tres partes principales; los satélites, los receptores y el control terrestre.

- Se compone de 24 satélites distribuidos en 6 órbitas polares distintas, situadas a 17.701,96 km de distancia de la Tierra. Cualquier receptor GPS puede encontrar dentro de su campo visual hasta 8 satélites, los cuales adquieren la energía eléctrica que necesitan para funcionar de dos paneles compuestos de celdas solares que se encuentran integrados en ellos.
- Los receptores pueden ser portátiles (teléfonos móviles) y fijos (se instalan en cualquier tipo de vehículo), y detectan, codifican y procesan las señales que obtienen de los satélites para la determinación del punto en el que se encuentran situados.

⁷⁹ Tangorra, F.M., Calcante, A., Nava, S., Marchesi, G., y Lazzari, M. (2013). *Design and testing of a GPS/GSM collar prototype to combat cattle rustling*. Journal of Agricultural Engineering 2013; volume XLIV: e10.

⁸⁰ García Álvarez, José Antonio E. (2015). *Así funciona el GPS*. Fuente: http://www.asifunciona.com/electronica/af_gps/af_gps_1.htm

El funcionamiento del sistema GPS se basa en el principio matemático de la triangulación, y para realizar el cálculo de la posición de un punto, el receptor debe determinar con exactitud la distancia que lo separa de los satélites. Cuando un receptor detecta una señal de radiofrecuencia transmitida por un satélite desde su órbita, genera una esfera virtual imaginaria que envuelve al satélite. Dicho satélite actúa como centro de la esfera cuya superficie se extiende hasta el punto o lugar donde esté situada la antena del receptor, y por ello el radio de la esfera será igual a la distancia que separa el satélite del receptor. Después el receptor medirá las distancias que lo separan de otros dos satélites, como mínimo. Para ello tiene que calcular el tiempo que demora cada señal en ir desde los satélites hasta el punto en el que se encuentra situado y realizar sus correspondientes cálculos matemáticos.

El satélite utiliza un reloj atómico de cesio que es bastante exacto, y por el contrario el receptor utiliza un reloj de cuarzo que es menos preciso. Para realizar la medición del momento en el que el satélite emite la señal y el receptor la recibe es necesario que ambos relojes estén sincronizados correctamente. La sincronización exacta del reloj del receptor se realiza a través de la emisión cada cierto tiempo de una señal digital o patrón de control que realiza el satélite junto con la señal de radiofrecuencia. Esta señal de control siempre llega al receptor con más retraso que la señal de radiofrecuencia, siendo el retraso entre ambas igual al tiempo que tarda la señal de radiofrecuencia en ir desde el satélite al receptor.

La distancia que existe entre cada satélite y el receptor la calcula el mismo receptor mediante diferentes operaciones matemáticas; multiplica el tiempo de retraso de la señal de control por el valor de la velocidad de la luz, y si la señal ha viajado en línea recta sin ningún tipo de interferencia, el resultado será la distancia exacta que separa al receptor del satélite.

El sistema de navegación global por satélite de Europa es Galileo⁸¹, el cual tiene la capacidad de funcionar con GPS y Glonass, que son los sistemas de navegación satelital global de Estados Unidos y Rusia, respectivamente. Este sistema Galileo completamente desplegado consta de 24 satélites operativos y 6 repuestos en órbita. Los servicios iniciales se pusieron a disposición en diciembre de 2016, y se prevé la disposición de nuevos servicios para el año 2020. En Europa se encuentran dos Centros de Control Galileo (GCC) para controlar el estado de los satélites y realizar la gestión de navegación, y para ello los datos proporcionados por una red global de estaciones de sensores Galileo (GSS) se envían a los GCC a través de una red de comunicaciones redundantes (es decir, la red de comunicaciones sigue funcionando en el caso de que un servidor falle). Los centros de control emplean los datos de las estaciones de sensores para realizar el cálculo de la información de integridad y para sincronizar la señal de tiempo de todos los satélites con los relojes de la estación terrestre, y los intercambios de estos datos entre los centros y los satélites se realizan a través de estaciones de enlace ascendente. Además, Galileo proporciona una función global de Búsqueda y Rescate (SAR), y por lo tanto los satélites cuentan con transpondedor que

⁸¹ *Galileo; What is Galileo?* Fuente: ESA (European Space Agency). http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo

puede transferir señales de socorro desde los transmisores del usuario hasta los centros regionales de coordinación de rescate.

En general, los principales componentes de un sistema GPS (Figura 58) son los siguientes; un receptor GPS, una antena GSM (Global System for Mobile communications), una batería recargable de litio, una batería externa de NiMH (níquel-hidruro metálico), e incluso un lector de tarjetas SIM. Además, presenta distintos parámetros de operación relevantes, entre los que encontramos actualización del programa, registro de datos (área de pastoreo, latitud, longitud, altitud, fecha y hora), alarma u otros parámetros de interés⁷⁹.

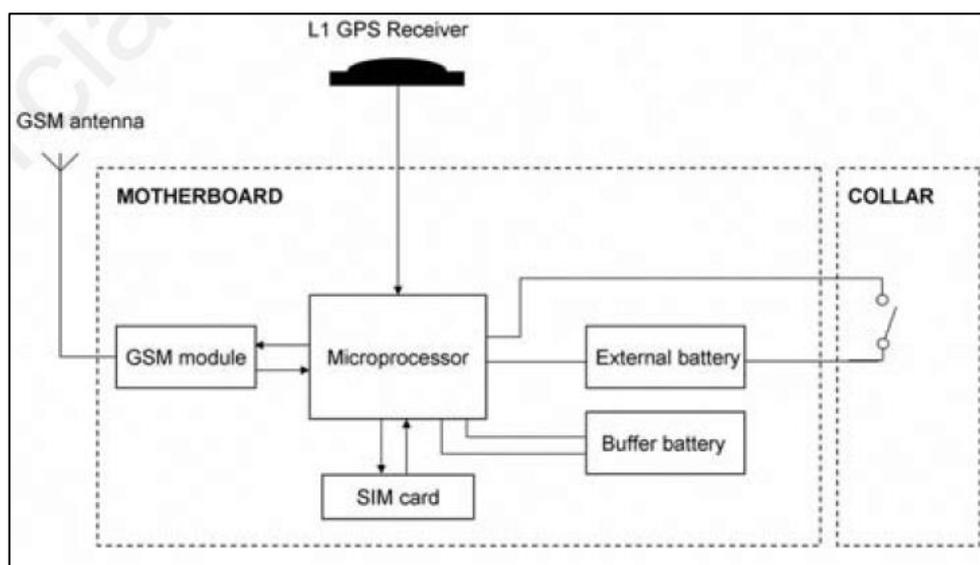


Figura 58: Diagrama de bloques de los componentes de un GPS. Fuente: Tangorra *et al.*, 2013.

El software utilizado para el análisis de la información permite realizar una gestión de la cartografía a través de la importación de archivos con las parcelas y archivos con fotografías aéreas, la creación de cercas virtuales poligonales y circulares con su área y perímetro, el cálculo de la distancia real entre distintos puntos, la importación de coordenadas GPS, el establecimiento de zonas de prealerta, etc. Además, el sistema permite al ganadero solicitar información de la posición del animal.

Por lo tanto, estas tecnologías se colocan en el cuello de las vacas y se encuentran conectados por vía satélite para rastrear los movimientos de los animales a través de internet o mediante un teléfono móvil, y con ello detectar si los animales se encuentran fuera de su área de pastoreo y si se están alejando de los perímetros virtuales, e incluso tienen un gran potencial como sistemas antirrobo.

Algunos de los sistemas de localización existentes para el ganado vacuno son los siguientes:

- **Localizador GPS⁸² (Figura 59):** El funcionamiento de este dispositivo se basa en la utilización de un sistema de localización por satélite y sus componentes son los explicados anteriormente, e incluso lleva incorporado un sensor para la monitorización de la temperatura. Los datos de localización y temperatura son enviados a través de la tecnología por satélite para ser visualizados en un dispositivo móvil a través de una aplicación.



Figura 59: Localizador GPS para vacas. Fuente: Digitanimal.

- **Dispositivo GPS solar⁸³ (Figura 60):** Su funcionamiento se basa en un sistema GPS para la realización de un seguimiento global y preciso de la localización de los animales, que transmite los datos por vía satélite para ser visualizados en un dispositivo móvil con una aplicación o en la página web. Se diferencia del dispositivo anterior porque éste lleva incorporado una batería con doble fuente de alimentación y con carga inalámbrica, permitiendo que funcione con energía solar. Además, lleva incorporado un sensor anti-remove que detecta si el animal pierde el collar y transmite una alerta al dispositivo móvil.



Figura 60: Dispositivo GPS solar para ganado. Fuente: 007espia.

- **Dispositivo GPS⁷⁹ (Figura 61):** Es un sistema que se basa en el funcionamiento por satélite y se encuentra en el interior de una caja metálica, que también contiene la batería, recubierta con goma de sellado térmico para proporcionarle una superficie lisa. La caja metálica se fija a un collar de cuero que permite su colocación en el cuello del animal, y se encuentra recubierto

⁸² Localizador GPS para vacas. Fuente: Digitanimal. <https://digitanimal.com/product/localizador-gps-vacas-2/>

⁸³ Localizador GPS solar para ganado y animales de granja. Fuente: 007espia. <http://www.007espia.com/localizador-gps-solar-para-ganado-y-animales-de-granja>

interiormente por una espuma de polietileno reticulado para proporcionar una sujeción correcta y cómoda. La antena GSM también se encuentra incorporada en la parte superior del collar para obtener una correcta recepción de las señales satelitales. La batería externa se conecta con el dispositivo a través de un cable metálico.



Figura 61: Dispositivo GPS. Fuente: Tangorra *et al.*, 2013.

SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA

En primer lugar, es conveniente destacar que la utilización de los sistemas de identificación electrónica es más habitual en el ganado ovino y caprino que en el vacuno. Por ello, antes de hablar de los sistemas de identificación que existen en vacuno es importante explicar brevemente los antecedentes de la identificación en bovino.

La identificación de los animales surgió en 1997 por la crisis de la encefalopatía espongiforme bovina (EEB) y por la creciente necesidad de rastrear el origen y los desplazamientos de los animales a través de marcas auriculares convencionales⁸⁴. La normativa de la Unión Europea que la regula es el Reglamento (CE) 1760/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de julio del 2000, que deroga el Reglamento CE 820/97, por el que se establece un sistema de identificación y registro de los animales de la especie bovina. Este reglamento se traspuso a la normativa nacional en el Real Decreto 1980/1998, de 18 de septiembre, por el que se establece un sistema de identificación y registro de los animales de la especie bovina. Con esta legislación se introdujo la trazabilidad obligatoria en las principales especies animales utilizadas para la alimentación humana, estableciendo que los animales deben estar identificados de la siguiente manera:

- Dos marcas auriculares que lleven el mismo código, denominadas crotales.
- Documento de identificación bovino (DIB).
- Libro de registro de la explotación en la que se encuentre el animal.

⁸⁴ *Identificación y registro del ganado bovino. Regulación; Normativa nacional, Legislación nacional y Regulación en la UE.* Fuente: MAPA. <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/legislacion/regulacion-identificacion-bovino.aspx>

- Base de datos informatizada. Se denomina SITRAN y se compone por los siguientes registros:
 - Registro General de Explotaciones Ganaderas (REGA).
 - Registro de Identificación Individual de Animales (RIIA).
 - Registro de Movimientos (REMO).

Este sistema de identificación y registro permite realizar una trazabilidad del origen de la carne y garantizar la protección de los consumidores y de la salud pública, fomentado con ello la confianza del consumidor.

El uso de sistemas de identificación electrónica permite racionalizar en las explotaciones los procedimientos de trazabilidad con la lectura y el registro automáticos más precisos, y permite el registro automatizado de los desplazamientos de los animales en la base de datos informatizada. Con esto se agiliza el sistema de trazabilidad y mejora la fiabilidad y precisión, además de mejorar la gestión de determinados pagos directos a los ganaderos. Esto se encuentra regulado por el Reglamento (UE) nº 653/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de mayo de 2014, por el que se modifica el Reglamento (CE) 1760/2000 en lo referente a la identificación electrónica de los animales de la especie bovina y al etiquetado de la carne de vacuno.

En los últimos años, los sistemas de identificación por radiofrecuencia han mejorado, permitiendo una lectura rápida y precisa del número de identificación individual de los animales directamente en los sistemas de procesamiento de datos, y con ello se reduce el tiempo para detectar animales o alimentos infectados. Con esto se obtienen mejores bases de datos y una mayor capacidad de reacción en el caso de que se produzcan enfermedades, y supone un ahorro de mano de obra.

Algunos ejemplos de sistemas de identificación electrónica en ganado vacuno que se pueden encontrar son los siguientes:

- Crotal electrónico⁸⁵ (Figura 62): Este dispositivo es un crotal de plástico que cumple con todas las normativas de identificación exigidas para la identificación animal; las normas ISO 11784 e ISO 11785. En el interior de dicho crotal se encuentra encapsulado el sistema de identificación electrónico, el cual está compuesto por un transponder codificado con un número único, que puede ser leído por una antena fija o un lector portátil.

El transponder memoriza la información y se encarga de transmitirla al lector cuando se lo pida a través de una radiofrecuencia determinada, y está compuesto por una bobina de hilo de cobre que hace de antena y por un circuito impreso que contiene el chip. Este transponder funciona mediante el campo magnético que produce el lector activando el chip, y éste le retorna el número que tiene programado.

⁸⁵ *Identificación electrónica.* Fuente: Azasa, Sistemas de identificación animal. http://www.azasa.es/ID_Allflex_ID_Electronica.htm#Bolo_ruminal_



Figura 62: Crotales electrónicos (HDX ULTRA Highperformance ISO y FDX ULTRA Lightweight ISO). Fuente: Azasa

La tecnología HDX (Half-duplex) funciona como una señal de radio debido a que el lector manda la señal y el transponder contesta después de una pausa rápida, y se no se producen interferencias entre dichas señales. La señal de retorno comienza después de terminar la señal de interrogación y si el acumulador se ha cargado totalmente, y por ello dicha señal de retorno solo se envía una sola vez debido a que el transponedor vacía el acumulador después de enviar el código. Por el contrario, la tecnología FDX (Full-duplex) funciona como un teléfono, produciéndose un diálogo permanente entre el lector y transponder, y se pueden producir interferencias entre dos señales. La señal de retorno empieza al comenzar la señal de interrogación y el acumulador se ha cargado, y se recibe repetidamente y sin interrupción mientras se mantenga la señal de interrogación.

- Bolo ruminal⁸⁶ (Figura 63): Este dispositivo es una pieza cilíndrica con la superficie lisa y los bordes redondeados que se fabrica con material cerámico. Posee una cavidad en el que se encuentra el transponder, que se encuentra sellada junto al orificio de entrada por una silicona sólida a temperatura ambiente para evitar una posible salida del identificador electrónico, y así impedir su pérdida. El cuerpo se caracteriza por no contener ningún elemento magnético o metálico, y el tipo de cerámica utilizada es de aluminio y está compuesta de una mezcla de bioelementos secos compatibles (sin circonio).



Figura 63: Bolo intrarruminal de identificación electrónica. Fuente: Allflex

La aplicación de este dispositivo es sencilla, aunque requiere de un entrenamiento previo para evitar muertes por aplicación, y su lectura se puede realizar con lectores de mano (transportables) o lectores estáticos⁸⁷.

En general, los bolos ruminales para la identificación de los animales son dispositivos de elevada seguridad y eficacia, porque no producen riesgos asociados a

⁸⁶ Bolo intrarruminal. Fuente: Allflex, Sistemas de Identificación animal en Colombia. <http://allflexcolombia.com/bolo-intrarruminal/>

⁸⁷ Informe final del Proyecto IDEA España (1998-2001). Fuente: MAPA.

su aplicación que ocasionen la muerte del animal. Además, no suponen la contaminación de la canal ni llega a la cadena alimentaria porque se recupera fácilmente, y por lo tanto se garantiza la seguridad alimentaria.

En cuanto a la recuperación de estos dispositivos en el campo es difícil porque supone abrir a los animales para poder extraerlos. Por lo tanto, solamente se podrá recuperar en el momento del sacrificio, y para ello es necesario que los mataderos cuenten con equipos de lectura automática. También se deben optimizar los sistemas para que sean capaces de transferir la información que lleva asociada el bolo ruminal a las distintas etiquetas utilizadas en el despiece y la comercialización de las canales, asegurando con ello la trazabilidad de la carne.

Como conclusión, la identificación electrónica es una herramienta útil en la gestión de las explotaciones porque permite llevar un control bastante riguroso sobre las altas, bajas y movimientos de los animales, y mejorar los controles de producción como el control lechero y el pesaje de los animales.

SISTEMAS DE MONITOREO DE ANIMALES CON DRONES

Los drones (Figura 64) son vehículos no tripulados que se pueden desplazar rápidamente en el aire por un terreno irregular o accidentado, y llevan acoplados sensores como infrarrojos y cámaras multispectrales que permiten recopilar información, y softwares para el análisis de los datos obtenidos en el campo¹⁹.



Figura 64: Uso de un dron en ganadería⁸⁸. Fuente: Bioeconomía

Los sectores de ganadería y de agricultura son los sectores que más han evolucionado en la aplicación de drones para la realización de sus actividades, suponiendo una reducción de costes en las explotaciones agrarias⁸⁹. Además, esta nueva área de trabajo está atrayendo el interés de jóvenes y puede llegar a favorecer el relevo generacional de los profesionales de dichos sectores, que se caracterizan por un elevado envejecimiento.

⁸⁸ *Drones y robots: tecnologías para impulsar la ganadería*. (2018). Fuente: BioEconomía. <https://www.bioeconomia.com.ar/2018/08/16/drones-y-robots-tecnologias-para-impulsar-la-ganaderia/>

⁸⁹ Coe, S. *Los 5 principales usos de los drones en ganadería*. Fuente: Pilotando <https://www.pilotando.es/usos-de-los-drones-en-la-ganaderia/>

Los sistemas de monitoreo de las actividades de pastoreo del ganado vacuno a través de drones están cada vez más extendidos porque aportan comodidad a los profesionales, ayudando a la optimización de sus tareas. Entre las tareas en las que se pueden emplear los drones encontramos el control de los rebaños y el pastoreo, la detección de enfermedades en el ganado, el control del ganado en altura y la detección y control de los efectos de incendios y otros desastres naturales en rebaños.

En los modelos de producción extensiva caracterizados por el pastoreo de los animales en zonas de montaña se requiere un control de dichos animales, lo que supone desplazamientos periódicos por las carreteras de montaña, con el consiguiente gasto de tiempo y gasóleo⁹⁰. En otros tipos de sistemas productivos diferentes del sistema de montaña también es útil su empleo para el control y pastoreo del rebaño. Los drones al llevar una cámara incorporada pueden controlar los movimientos de los animales, y utilizados a una distancia adecuada y suficiente de ellos pueden conducirlos en la dirección deseada, e incluso permiten la localización de animales desorientados y apartados del rebaño, evitando el desplazamiento del ganadero para su búsqueda.

Otra de las tareas de interés es la detección de enfermedades porque el uso de drones con cámaras térmicas y sensores especiales detectan el aumento o el descenso de la temperatura de los animales, favoreciendo su detección de forma rápida.

Por lo tanto, los drones se encargan de capturar imágenes, que posteriormente serán analizadas, y así nos permiten realizar un monitoreo de la producción ganadera al pastoreo en relación a la biomasa y condición de praderas, biodiversidad de plantas, población animal en extensivo, impacto antropogénico en la zona, condición corporal de los animales, etc.

SISTEMAS DE GESTIÓN DE PASTOS

El pasto puede definirse como el forraje disponible más económico, y su optimización en el pastoreo o en el cosechado supone una mayor producción animal, bien sea de leche o de carne, y con ello mayores serán los beneficios⁹¹.

Es importante tener en cuenta la variabilidad diaria de la oferta, la calidad y el consumo del pasto, el cambio de las condiciones meteorológicas y de las condiciones edafológicas. Por lo tanto, una gestión eficiente de los pastos implica no solo producir más pasto, sino también una alta utilización de éste, y por ello es necesario ajustar la demanda de pasto con la tasa de crecimiento de los pastos. Esto se consigue realizando un seguimiento de los pastos, que nos proporciona una serie de beneficios para conseguir una mejor gestión, como el ahorro de tiempo, reducir la intensidad de trabajo, aportación de una vista global de todos los pastos, ofrecer una idea en relación a la calidad del forraje y controlar las raciones de los animales.

⁹⁰ *Drones pastores para controlar el ganado.* (2017). Fuente: Campo galego. <http://www.campogalego.com/es/carne-es/drones-pastores-para-controlar-el-ganado/>

⁹¹ Hendriks, I., y Wind, T. (2017). *Guía de buenas prácticas sobre el uso de tecnología para mejorar la gestión de pastos.* 4D4F Data Driven Dairy Decisions for Farmers.

En la actualidad para realizar una medición de la producción de pasto en una parcela, además de los drones se pueden utilizar distintos tipos de tecnologías, como pueden ser las cámaras hiperespectrales desde satélites (GNSS), que son soluciones más caras, aunque también se pueden realizar muestras de contenido de materia seca después de la cosecha o utilizar instrumentos de medición en el terreno como los altímetros para el pasto.

Algunos ejemplos de sistemas tecnológicos que se pueden utilizar en la gestión de los pastos son los siguientes:

- Altímetro (Figura 65): Este dispositivo mide la altura del pasto debido a que existe una correlación entre la altura del pasto y la cantidad de este. Si se utiliza un altímetro simple es necesario usar un gráfico o una fórmula para determinar la cantidad de pasto, pero existen medidores que llevan integrados un sensor para medir directamente la producción de pasto. En ocasiones estos sistemas con sensores pueden enviar la localización de la medición al teléfono móvil para poder consultarlo y analizar la curva de crecimiento del pasto.



Figura 65: Altímetro para la medición del pasto. Fuente: Hendriks *et al.*, 2017

- Pasture reader (Figura 66): Este dispositivo es un “lector de pasto” que lleva incorporado un sensor para determinar la producción de pasto a través de la medición de la altura de la hierba, y utiliza una señal GPS para determinar su ubicación. Se puede acoplar a cualquier tipo de vehículo, y en el caso de que se acople a una cortadora, va a indicar la cantidad de materia seca (en Kg/ha) de pasto existente, tras ser cortado.



Figura 66: Pasture reader acoplado a una segadora. Fuente: Hendriks *et al.*, 2017

- Espectroscopia por infrarrojo cercano: La técnica NIRS (abreviatura en inglés) es una metodología que se basa en la quimiométrica⁹², es decir, asocia la luz absorbida en una muestra de alimento con su composición química y, en base a ello, se establecen ecuaciones de predicción por cada componente químico del alimento. Por lo tanto, combina la espectroscopia, la estadística y la computación para desarrollar modelos matemáticos.

Un espectroscopio se compone de 5 elementos básicos y puede ser de reflectancia para compuestos sólidos o de transmitancia para compuestos líquidos. Se suele acoplar a máquinas de ensilaje o picadoras (Figura 67).

- Una fuente de radiación: Es una lámpara halógena con filamentos de Tungsteno con ventana de cuarzo, que presenta una elevada intensidad de emisión y cubre ampliamente la zona del infrarrojo cercano en el intervalo 320-2.500 nm.
- Un sistema de selección de longitud de onda: Puede ser un monocromador, que es un sistema dispersivo y a través de un prisma dispersa la radiación en longitudes de onda individuales, o un filtro convencional, que es un sistema no dispersivo y limitan la radiación para que pasen determinadas longitudes de onda.
- Un recipiente para la muestra: Es una cubeta en la que se coloca una determinada cantidad de muestra y se encuentra entre el sistema de selección de la onda y el detector. Es necesario que sea transparente a la región espectral que se está utilizando.
- Un detector de radiaciones o transductor: Existen dos tipos, uno de fotones en el que la luz recibida produce la liberación de electrones y se genera una corriente eléctrica, y otro térmico en el que la luz recibida produce un aumento de la temperatura, que se registra mediante diversos sistemas.
- Un sistema de procesamiento que realiza la lectura del detector y registra la señal como transmitancia, absorbancia o concentración, visualizándose como un espectro.



Figura 67: Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS). Fuente: Hendriks et al., 2017

⁹² Rivera Rivera, A., y Alba Maldonado, J.M. (2017). *Revisión. NIRS en el análisis de alimentos para la nutrición animal*. Revista ingenio UFPSO-Vol. 13.

Las ecuaciones de predicción se desarrollan en tres fases; calibración, validación interna y validación externa, en las cuales el modelo se evalúa de acuerdo a criterios estadísticos. Por último, los resultados obtenidos son enviados a un servidor, donde un software se encarga de analizarlos.

Esta técnica de espectroscopia por infrarrojo cercano se aplica en el análisis de forrajes para la determinación de materia seca, proteína, carbohidratos estructurales, solubles, grasa y factores antinutricionales en leguminosas.

- Pasture robot (Figura 68): Esta tecnología se basa en un robot que lleva incorporados distintos sensores, los cuales proporcionan información sobre gramíneas, plantas no deseadas (ortigas...), áreas sin vegetación y contenido de materia seca para llevar a cabo una mejora de las condiciones de los pastos después del pastoreo, y así optimizar la alimentación del ganado. Presenta una velocidad de trabajo relativamente alta de 3 m/s, considerándose una velocidad óptima para la realización de la operación⁹³.



Figura 68: Pasture robot. Fuente: Gobor et al., 2015.

El procedimiento de funcionamiento de este robot (Figura 69) se resume básicamente en dos tareas principales;

- Las operaciones de exploración del pasto, que se realizan durante el período de crecimiento (antes del pastoreo), de manera opcional durante el pastoreo e inmediatamente después del pastoreo, siendo su objetivo recoger información sobre la calidad del pasto y la cantidad de biomasa.
- Las operaciones de mantenimiento, que son el mulching y la siembra, y se realizan después del pastoreo. El mulching debe realizarse en los dos días posteriores debido al crecimiento de la planta y al inminente desarrollo de las plantas no deseadas.

Previamente a la realización del procedimiento, se establece una planificación de la trayectoria que debe seguir el robot y su programación a través de un software de gestión. Además, el control del robot precisa de tres funciones principales; la ruta precisa de seguimiento previamente planificada, la gestión de obstáculos y la

⁹³ Gobor, Z., Cariou, C., Seiferth, B., Thurner, S., Feucker, W., Tessier, C., Tekin, B., y Berducat, M. (2015). *Advanced pasture management through innovative robotic pasture maintenance*. IROS Workshop on Agri-Food Robotics, October 2nd, 2015, Hamburg, Germany.

conservación de la estabilidad del robot, considerando parámetros relacionados con el medio ambiente, y más concretamente con las condiciones del suelo (estructura, compactación, pendiente, etc.)

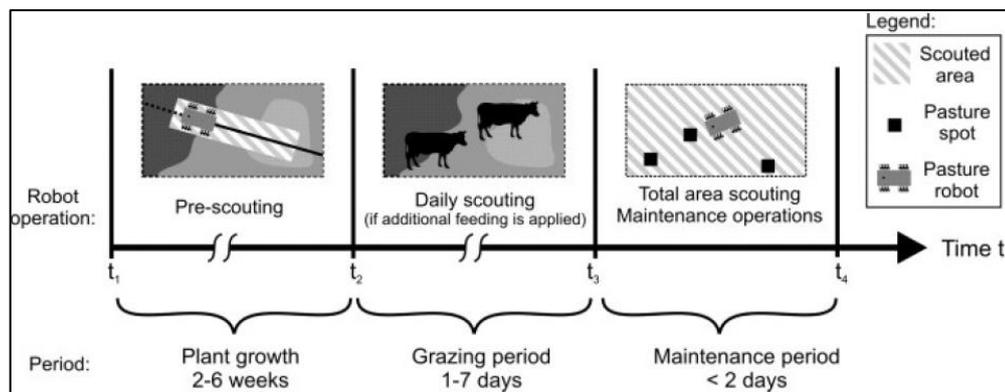


Figura 69: Proceso de funcionamiento del robot. Fuente: Gobor et al., 2015.

En general, estos sistemas tecnológicos permiten realizar un adecuado mantenimiento de los pastos para mejorar su productividad y realizar un aprovechamiento sostenible. Por lo tanto, las ganancias de productividad dependerán de la protección de los recursos disponibles y de la capacidad de los sectores para incorporar las últimas tecnologías.

SISTEMAS DE GESTIÓN DE EXPLOTACIONES

La gestión de las explotaciones es uno de los aspectos más importantes en ganadería porque nos permiten realizar una evaluación de la capacidad de mejora de dicha explotación. Tanto en explotaciones de ganado en extensivo como de ganado en intensivo, es importante la realización de una gestión técnica que permita obtener resultados sobre índices técnicos (fertilidad, prolificidad, mortalidad...) para evaluarlos y emprender acciones de mejora si fuera necesario, y de una gestión económica que permita realizar una medición de la rentabilidad teniendo en cuenta los indicadores económicos más importantes (producto bruto, gastos variables y fijos...) para evaluarlos y si fuera necesario realizar cambios en el planteamiento de gestión técnica. Por ello, es necesaria la implantación de nuevas tecnologías de la información y la comunicación aplicadas a la gestión, que permiten comprobar la existencia de puntos de mejora sobre los que incidir para optimizar los resultados técnicos, y como consecuencia la rentabilidad de la explotación⁹⁴.

Existen distintas aplicaciones de gestión, como pueden ser las siguientes:

- TrazaFARM⁹⁵: Esta aplicación permite gestionar, controlar y mejorar la explotación mediante la creación del libro de registros veterinarios, registro de movimientos de animales, registro de piensos, registro de bajas de la explotación, y control y alerta de los períodos de supresión de medicamentos.

⁹⁴ Santamaría Echarte, C. (2009). *Gestión técnico – económica. Herramienta necesaria para la toma de decisiones en explotaciones ganaderas*. ITG Ganadero; Navarra Agraria.

⁹⁵ *Tu app de gestión ganadera*. Fuente: TrazaFarm. <https://trazafarm.com/#top>

- Isagri⁹⁶: Es una aplicación que permite gestionar las principales problemáticas en una explotación a través de las obligaciones administrativas y legales de trazabilidad, registro sanitario, el seguimiento individual y resultados de los animales, y la gestión de los costes y recursos. Presenta soluciones para los distintos sectores de producción; porcino, vacuno de carne, vacuno de leche, ovino y caprino.
- BoviCONTROL⁹⁷: Es una aplicación para vacuno de carne que analiza los datos productivos de la explotación mediante la creación de libros de registro, análisis de partos, análisis de costes, control de la ganancia media diaria, gestión de los movimientos de los animales, gestión de la trazabilidad alimentaria, etc.
- VacApp⁹⁸: Es una aplicación que permite gestionar los rebaños de vacuno mediante un control exhaustivo de terneros, destetes, saneamientos, enfermedades y otros aspectos que puedan suceder en el rebaño.

También existen otras aplicaciones o sistemas de gestión que se utilizan en explotaciones de vacuno de leche y van conectadas inalámbricamente a los distintos sensores que se colocan en las instalaciones de ordeño, entre las que se encuentran:

- DeLaval DelProTM ⁹⁹: Es una aplicación que se utiliza en explotaciones lecheras y permite obtener la información necesaria para monitorizar y ajustar los planes de la explotación. Junto a esta aplicación se emplean sensores que se colocan en las instalaciones de la explotación, y envían la información que recogen a un software, para su posterior visionado en el teléfono móvil o en el ordenador. Este sistema proporciona informes de rendimiento del sistema de ordeño, registro de calidad y volumen de leche, informes individuales de los animales, informes de control sanitario, indicadores de rendimiento en reproducción, alimentación, etc.
- Time for Cows (T4C) ¹⁰⁰: Es un sistema de gestión que ofrece información en tiempo real en las explotaciones lecheras. Está diseñado para el ordeño automático y para el sistema de alimentación automática, permitiendo la monitorización y ofreciendo información útil para tomar las decisiones correctas y mejorar los resultados de la explotación. Por lo tanto, este sistema permite aprovechar los datos obtenidos por el robot de ordeño durante el proceso de ordeño, realizando una gestión del grupo o individual de cada animal, y así prestar una mayor atención a los animales que lo necesiten actuando de manera inmediata.

⁹⁶ *Soluciones para ganadería*. Fuente: ISAGRI. <https://www.isagri.es/ganaderia-1371.aspx>

⁹⁷ BoviCONTROL, Software de vacuno de carne, La mejor solución. Fuente: Innovación Ganadera. <https://www.ganaderosonline.com/vacuno-de-carne>

⁹⁸ *Gestiona tu ganado vacuno*. Fuente: VacApp. <https://vacapp.net/es/#screenshots>

⁹⁹ Gestión del rebaño. DeLaval DelProTM. Fuente: DeLaval. <https://www.delaval.com/es-es/nuestras-soluciones/farm-management/>

¹⁰⁰ *Time for Cows (T4C). Making the right decisions with the right information*. Fuente: Lely. <https://www.lely.com/solutions/lely-t4c/>

BIOSENSORES

Un biosensor es un dispositivo que está compuesto por dos elementos fundamentales; un sensor (microelectrónico) y un receptor biológico (puede ser una proteína o una cadena de ADN)¹⁰¹. Estos dos elementos junto a otros de funcionamiento y conversión de señal forman este dispositivo, que sirve para medir todo tipo de sustancias, y no solo biológicas.

El funcionamiento de un biosensor microelectrónico (Figura 70) es similar al biosensor más clásico, que es el que usan los diabéticos para medir la concentración de glucosa en sangre. Este biosensor integra una enzima para que actúe como receptor biológico, que se sitúa sobre un electrodo. Dicha enzima se encuentra en estado seco e hidrofílica hasta que entra en contacto con la sangre, la cual la regenera y activa produciéndose una reacción química, y como consecuencia un movimiento de electrones. Posteriormente, el electrodo registra los cambios y en 30 segundos los traduce en la información que se visualizará en la pantalla. Por lo tanto, funciona de la misma manera, pero en vez de analizar glucosa, analiza otros compuestos, y en vez de usar enzimas, usa proteínas o ADN.

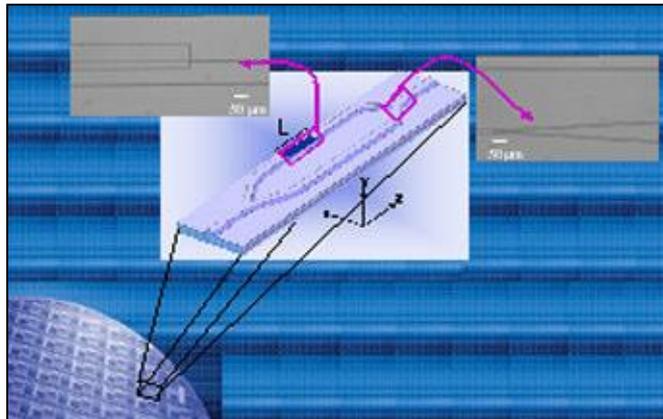


Figura 70: Biosensor óptico de tecnología microelectrónica. Fuente: Serrano Antolín, 2004.

La tendencia en la investigación de los biosensores en la actualidad se está centrando en dispositivos de prototipo nanométrico y de prototipo de escala macro y micro.

- El prototipo nanométrico es una estructura de 200 micras de largo, 20 micras de ancho y un espesor de 300 nanómetros, en la que se fija una cadena simple de ADN a través de reacciones químicas. La ventaja que presenta, con respecto a las técnicas que se emplean actualmente para el análisis genético, es que no necesita marcador y permite realizar las mediciones en tiempo real, visualizándose en la pantalla en el momento que se está produciendo las reacciones de reconocimiento.

¹⁰¹ Serrano Antolín, P. (2004). *Biosensores: la alianza entre la vida y la microelectrónica*. Grupo de Biosensores. Instituto de Microelectrónica de Madrid. Centro Nacional de Microelectrónica (CSIC). Coordinador: Laura María Lechuga Gómez.

- El prototipo de escala macro está compuesto por una placa de oro de 45 nm de espesor en la que se encuentra el receptor biológico y se emplea en la detección de sustancias contaminantes de origen agrícola o industrial. Las muestras analizadas por este tipo de dispositivo tienen que ser líquidas para que puedan ser inyectadas en el flujo. Por lo tanto, la placa de oro con el receptor biológico (proteína) y el sistema de flujo constante se excita con un láser de efecto óptico, denominándose resonancia de plasmón superficial. Al incidir la luz sobre dicha placa se produce un movimiento de electrones que se altera con las reacciones bioquímicas o biomoleculares producidas, provocando un cambio en la luz reflejada. Esta luz es registrada por un fotodetector que la procesa electrónicamente, y posteriormente a través de un software se conecta a un ordenador para traducir cambios de concentración en los contaminantes. La ventaja que presenta este biosensor es la posibilidad de realizar una medición y un análisis directo de muestras muy pequeñas.
- El prototipo de escala micro tiene un funcionamiento similar al de escala macro, aunque sustituye la placa de oro por una placa de silicio. Esta placa lleva incorporados 30 interferómetros de 4 nm de altura, a los cuales se conecta una fibra óptica de entrada y de salida de luz, y a ésta última se conecta un fotodetector para que transmita la información a la electrónica y después al software. Los interferómetros son dispositivos por los que transcurren los fotones que van desde el emisor de la luz al fotodetector, pasando por el receptor biológico que se sitúa en una disolución constante. La luz entra por una vía única y en un determinado punto del interferómetro se divide en dos ramas (en una de ellas se encuentra anclada la proteína). Posteriormente, las dos ramas y la luz se vuelven a unir, siendo la luz distinta a la de entrada porque al entrar en contacto con la proteína se ha modificado. Este contacto da lugar a la señal que determina la concentración de la muestra.

Las aplicaciones de los biosensores en el sector agrario e industrial¹⁰² comprenden prácticamente toda la cadena alimentaria, desde la producción primaria y los procesos de transformación hasta la distribución final. Dentro de este campo las principales áreas de aplicación son las siguientes:

- Seguridad alimentaria: Los biosensores en esta área se utilizan para garantizar la producción y la comercialización de productos que no tengan un riesgo potencial para la salud de los seres humanos. Permiten detectar compuestos xenobióticos (sustancias externas no sintetizadas por los seres vivos) como aditivos y fármacos, componentes del alimento como alérgenos y antinutrientes, toxinas de origen bacteriano y micotoxinas, y microorganismos patógenos que perjudiquen al ser humano, los animales y los cultivos.

¹⁰² González Rumayor, V., García Iglesias, E., Ruiz Galán, O., y Gago Cabezas, L. (2005). *Aplicaciones de biosensores en la industria agroalimentaria*. Informe de Vigilancia Tecnológica.

- Calidad alimentaria: Los biosensores se emplean en esta área para realizar un análisis de la composición de los productos alimentarios, y con ello detectar componentes normales (glucosa, almidón...) o componentes añadidos (vitaminas, aminoácidos...).
- Control de procesos: En esta área de aplicación los biosensores permiten detectar posibles errores en la cadena de producción mediante la determinación y la cuantificación de compuestos como azúcares, alcoholes y otras moléculas.
- Otras aplicaciones: Los biosensores se pueden utilizar para la detección de organismos modificados genéticamente (OMGs) y la monitorización de la cantidad de progesterona en leche fresca para la determinación del celo, e incluso la preñez o problemas de fertilidad en hembras.

De todas las posibles aplicaciones mencionadas anteriormente, los biosensores aplicados para la detección de microorganismos patógenos y la monitorización de la progesterona en leche fresca son los importantes en la gestión eficiente de una explotación de vacuno, tanto para la detección de posibles enfermedades causadas por patógenos como para la detección del celo, preñez y problemas de fertilidad en las vacas.

En general, los biosensores son dispositivos de análisis que permiten la combinación de manera eficaz de la especificidad y selectividad de las reacciones biológicas con los últimos desarrollos de la electrónica moderna. Presentan una serie de ventajas, en comparación con las técnicas convencionales, entre las que destacan; elevada sensibilidad y selectividad, manejo sencillo, automatizables, posibilidad de miniaturización, realización de análisis *in situ* y en tiempo real, y posibilidad de multianálisis.

SISTEMAS DE MONITOREO DE LA CONDICIÓN CORPORAL Y EL MOVIMIENTO

La condición corporal y el movimiento de los animales son aspectos importantes a tener en cuenta para la detección temprana de posibles problemas de salud, obteniendo beneficios a través de una gestión eficiente como la reducción de incomodidad y el dolor, el aumento de la vida útil y el aumento de la productividad animal, además de la reducción de costes en alimentación y servicios veterinarios¹⁰³.

Tradicionalmente la estimación de la condición corporal y la detección de cojeras se realizaba mediante observación visual utilizando técnicas manuales de puntuación establecida, siendo métodos bastante subjetivos con resultados inexactos. Sin embargo, la innovación tecnológica ofrece al ganadero la adquisición de distintos datos de la condición de los animales simultáneamente a través de un dispositivo que permite monitorizar el peso, la estimación de la condición corporal y el control de las cojeras. Dichos parámetros se encuentran relacionados entre sí porque si un animal tiene una

¹⁰³ Hansen, M.F., Smith, M.L., Smith, L.N., Abdul Jabbar, K., y Forbes, D. (2018). *Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device*. Computers in Industry 98.

mala condición corporal, tendrá una mayor probabilidad de sufrir cojera, y ésta se encuentra relacionada con otros problemas como la pérdida de peso y la reducción de la fertilidad.

La configuración del sistema (Figura 71) consiste en una cámara de profundidad tipo Kinect 3D para la adquisición de imágenes, colocada en la parte superior a una altura de 2,3 metros del suelo de una pasarela, y obtiene las imágenes desde arriba según va pasando el animal. La superficie de la pasarela debe ser de material antideslizante, pudiendo ser de hormigón. En un lateral de la pasarela, al nivel de la cabeza del animal, se coloca un lector de identificación por radiofrecuencia (RFID) para la identificación de los mismos, activando la adquisición de imágenes a medida que el animal se va acercando.

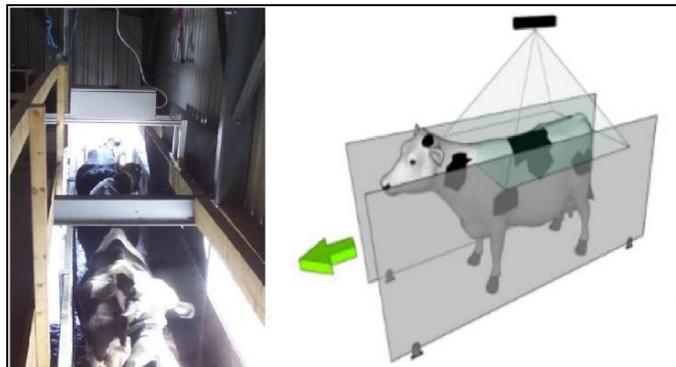


Figura 71: Configuración del sistema tecnológico. Fuente: Hansen *et al.*, 2018

Los datos capturados consisten en una nube densa de puntos de datos de superficie 3D, adquiriendo 30 cuadros por segundo. Estas imágenes son sometidas a un procesamiento previo y a un análisis de los datos para obtener las mediciones deseadas (Figura 72). El procesado previo consiste en la producción de datos de profundidad, eliminando toda la información extraña de la imagen, para poder aplicar los algoritmos que realizan la estimación del peso, la condición corporal y la puntuación de la cojera.

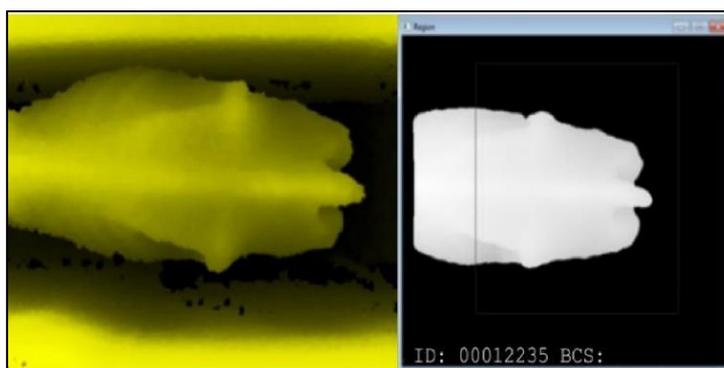


Figura 72: Imagen 3D sin procesar (izq.) e imagen procesada (drcha.). Fuente: Hansen *et al.*, 2018

La condición corporal se evalúa según el nivel de grasa subcutánea aparente existente en la parte posterior del animal alrededor de la cabeza de la cola, el gancho y

los huesos de alfiler, mediante un algoritmo de bola rodante. La detección de la cojera se basa en el arco de la columna vertebral que se encontrará encorvado cuando camina el animal, mediante su extracción automática de las imágenes de profundidad. En el caso de la estimación del peso se realiza una integración de los píxeles del área conocida sobre su profundidad para producir una estimación del volumen, y se supone una densidad de agua para obtener una estimación del peso del animal en kilogramos.

SISTEMAS DE MONITOREO DEL MOVIMIENTO Y ACTIVIDAD NEURONAL

La relación entre la actividad neuronal y el comportamiento se pueden estudiar para comprobar que la activación de las neuronas de la corteza motora se encuentra relacionada con la actividad muscular, siendo importante para el desarrollo de interfaces cerebro-máquina¹⁰⁴. Es importante matizar que el sistema que se va a explicar a continuación para tal monitorización se ha realizado en monos.

La configuración de la metodología del sistema tecnológico (Figura 73) empleado para la monitorización consiste en la utilización de un Neurochip que detecta el comportamiento, proporcionando una señal a través de la transmisión de radiofrecuencia a un receptor cercano, el cual se encuentra conectado a un centro de control Arduino. Este centro de control transmite la señal a una unidad de control de audio, un dispensador de pellets y un ordenador con Windows. El ordenador controla una cámara Microsoft Kinect colocada en la jaula, que mide la ubicación física del animal mediante la combinación de vídeo tradicional y la detección de profundidad infrarroja, y posteriormente los datos obtenidos son procesados por un software que contiene controladores para los flujos de datos de vídeo y profundidad, cálculos de movimiento, almacenamiento de datos y recepción de entrada desde el centro de control de Arduino. Además, el sistema permite realizar informes de estado del sistema, conteos totales de eventos y la marca del tiempo del evento más reciente.

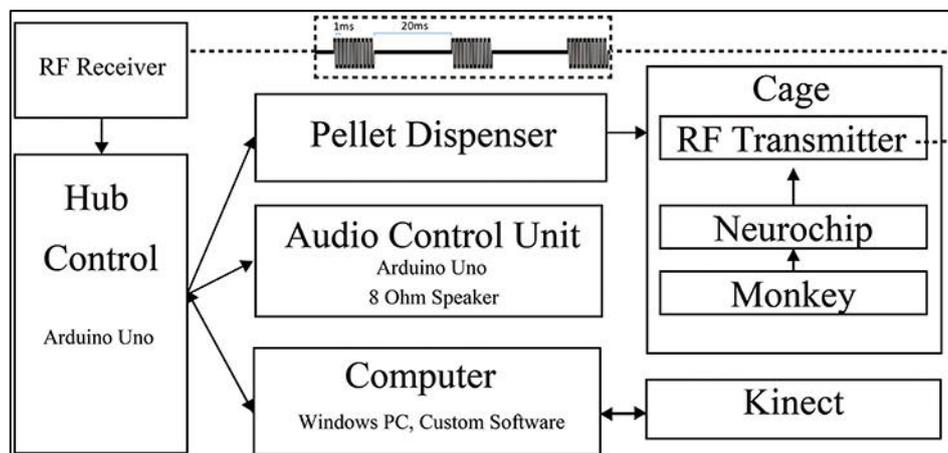


Figura 73: Metodología del sistema de monitoreo del movimiento y actividad neuronal. Fuente: Libey *et al.*, 2017

¹⁰⁴ Libey, T., y Fetz, E.E. (2017). *Open-Source, Low Cost, Free-Behavior Monitoring, and Reward System for Neuroscience Research in Non-human Primates*. *Frontiers in Neuroscience*. Volume 11; Article 265.

2.2.2. LEGISLACIÓN

La trazabilidad en el sector agroalimentario¹⁰⁵ es la capacidad de rastrear alimentos, piensos, animales productores de alimentos o sustancias que vayan a ser incorporadas en ellos, durante todas las etapas de producción, elaboración y distribución que conforman la cadena alimentaria. Dicha trazabilidad se regula con una serie de instrumentos, como son la identificación de los animales, el registro de explotaciones ganaderas y el registro de movimientos de las especies de interés ganadero, los cuales nos permiten realizar un seguimiento de los animales desde su nacimiento hasta su sacrificio, y garantizar la seguridad de los alimentos y la sanidad de las personas y los animales.

La legislación comunitaria en materia de identificación animal⁸⁴ para garantizar la trazabilidad animal es el Reglamento (CE) 1760/2000 del Parlamento europeo y del Consejo de 17 de julio de 2000 que establece un sistema de identificación y registro de los animales de la especie bovina y relativo al etiquetado de la carne de vacuno y de los productos a base de carne de vacuno y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 820/97 del Consejo. Dicho reglamento establece, por un lado, un sistema eficaz de identificación y registro de los animales de la especie bovina en la fase de producción y, por otro lado, un sistema de etiquetado comunitario específico en la carne de vacuno en la fase de comercialización, basándose en criterios objetivos. Con estas garantías se satisfacen los requisitos de interés general, como son la protección de la salud humana y de la sanidad animal.

Sin embargo, la identificación electrónica de los animales se establece en el **Reglamento (UE) 653/2014** del Parlamento Europeo y del Consejo del 15 de mayo de 2014, por el que se modifica el Reglamento (CE) 1760/2000 en lo referente a la **identificación electrónica de los animales de la especie bovina y al etiquetado de la carne de vacuno**.

Según lo establecido en este reglamento sobre identificación electrónica, los animales deben de estar identificados como mínimo con dos medios de identificación enumerados en el anexo I, que son la marca auricular convencional y el dispositivo electrónico en forma de marca auricular electrónica, en forma de bolo ruminal o en forma de transpondedor inyectable, y que al menos uno de ellos debe ser visible y llevar un código de identificación visible. Ambos medios deben llevar el mismo y único código de identificación que, junto con el registro de los animales, permiten la identificación individual de cada animal y de la explotación en la que haya nacido. Por lo tanto, la identificación electrónica permite garantizar la trazabilidad animal y la adaptabilidad a los avances técnicos, estableciendo los requisitos aplicables a los medios de identificación mencionados anteriormente.

En España, la legislación en materia de identificación animal es el Real Decreto 1980/1998, de 18 de septiembre, por el que se establece un sistema de identificación y registro de los animales de la especie bovina, con sus correspondientes modificaciones.

¹⁰⁵ *Trazabilidad animal; Registro: Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN) y Legislación del SITRAN.* Fuente: MAPA. <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/trazabilidad-animal/>

Esta normativa establece los componentes necesarios para el sistema de identificación y registro; marcas auriculares para la identificación individual de cada uno de los animales, documentos de identificación de los animales, base de datos informatizada y libro de registro de la explotación.

La base de datos informatizada es una herramienta específica utilizada para garantizar la trazabilidad del ganado, denominada Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN), que consiste en una base de datos heterogénea y distribuida que comunica los registros de las distintas comunidades autónomas con un registro centralizado. Los registros obtenidos por las comunidades autónomas son datos relacionados con la emisión de documentos de identificación, notificaciones de altas y bajas, declaraciones de censo, etc., que son suministrados por los ganaderos, o datos relacionados con el ejercicio de sus competencias, como inspecciones, controles, etc.

Dicho sistema se encuentra compuesto por tres módulos principales, interrelacionados entre ellos, el Registro general de explotaciones ganaderas (REGA), el Registro de movimientos de las especies de interés ganadero (REMO) y el Registro de identificación individual de animales (RIIA). La legislación que regula el SITRAN es la siguiente:

- Real Decreto 479/2004, de 26 de marzo, por el que se establece y regula el Registro general de explotaciones ganaderas.
- Real Decreto 728/2007, de 13 de junio, por el que se establece y regula el Registro general de movimientos de ganado y el Registro general de identificación individual de animales
- Orden ARM/687/2009, de 11 de marzo, por la que se modifica el anexo XI del Real Decreto 728/2007, de 13 de junio, por el que se establece y regula el Registro general de movimientos de ganado y el Registro general de identificación individual de animales.

3. OBJETIVOS

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster es establecer una visión de las tecnologías existentes en la sensorización animal que se aplican en las explotaciones de vacuno para conseguir una gestión más eficiente del ganado en extensivo.

El conocimiento de estas tecnologías permite conocer los sistemas de gestión y manejo animal existentes, que pueden servir en los siguientes aspectos:

- Conocimiento y mejora del estado de salud de los animales mediante la monitorización no invasiva de las variables físicas y de los animales; temperatura, ritmo cardíaco y frecuencia respiratoria.
- Mejora de los índices de fertilidad y prolificidad de la cabaña ganadera.
- Optimización de la gestión y control de la producción animal en tiempo real.
- Mejora de la eficiencia económica de las explotaciones ganaderas mediante el control y el ahorro de costes.

Por lo tanto, su finalidad es conseguir un modelo de desarrollo sostenible en la ganadería, desde el punto de vista de la mejora de la eficiencia de las explotaciones ganaderas y del bienestar animal, junto con la mejora de los índices de reproducción.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. VARIABLES FISIOLÓGICAS PARA MONITORIZACIÓN ANIMAL

Las variables fisiológicas, o constantes fisiológicas, son de gran importancia en la monitorización animal para determinar el diagnóstico de una posible enfermedad o de malestar. Es importante conocer las respuestas fisiológicas del organismo de los animales a los estímulos del medio para mantener la homeostasis, debido a que se encuentran en constante interacción con el medio ambiente¹⁰⁶.

La evaluación de las constantes fisiológicas es recomendable realizarla sin que el animal se altere o presente estrés porque en un animal sano es importante que se mantenga la homeostasis del animal. En el caso de que se produzcan procesos infecciosos o no infecciosos, las constantes fisiológicas van a sufrir unos cambios respecto a sus límites normales.

Las variables fisiológicas más habituales que se estudian para la monitorización de un animal son la temperatura, la frecuencia cardíaca y pulso, la frecuencia respiratoria y el movimiento ruminal.

➤ **Temperatura:**

La exploración de la temperatura corporal en vacuno es uno de los aspectos más importantes para determinar si está sano o enfermo, debido a que permite detectar la temperatura fisiológica normal, hipertermia, hipotermia o fiebre¹⁰⁷. Los valores normales de la temperatura corporal se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores normales de temperatura corporal en bovinos adultos y jóvenes

Etapa productiva	Mínima	Media	Máxima
Vacunos adultos	37,7 °C	38,5 °C	39,0 °C
Vacunos jóvenes	38,5 °C	39,0 °C	39,5 °C

Fuente: Cano Celada, 2009.

La hipertermia es el aumento de la temperatura corporal y puede ser fisiológica o patológica. La hipertermia fisiológica es compensatoria a un determinado estado, y posteriormente se recupera la temperatura normal, produciéndose por factores relacionados con el medio ambiente, la estación del año, la alimentación, la edad, la raza, el estro, la gestación, el parto, etc. Por el contrario, la patológica puede comenzar con una hipertermia al inicio de la enfermedad en su fase aguda o prodrómica, y posteriormente producirse fiebre como método de defensa del organismo.

¹⁰⁶ Barrera Villanueva, G., García Mendoza, T., Barrera Guandulain, E., Nazario Meza, D.Z. y Mayo Ríos, K.Y. (2011). *Constantes fisiológicas del ganado bovino del C.B.T.A.* Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos85/constantes-fisiologicas-bovinos/constantes-fisiologicas-bovinos.shtml>

¹⁰⁷ Cano Celada, J.P. (2009). Práctica 1 Examen clínico. In: Trigo Tavera, F., Buntinx Dios, S.E., Ayala Rico, A., Caballero Gutiérrez, V., Flores Covarrubias, J., Suárez Gúemes, F., Valero Elizondo, G., Ortiz Hernández, A., Trujillo Ortega, M.E., y Fernández Saavedra, V. ed., *Manual de prácticas de clínica de los bovinos I*. Universidad Nacional Autónoma de México.

La hipotermia es la disminución de la temperatura corporal por debajo de los límites normales y se puede producir por un estado fisiológico o patológico. El estado fisiológico se produce por un medio ambiente frío, húmedo, etc., y el estado patológico se debe a una enfermedad crónica o a que el aparato termorregulador rompa su estado normal, produciéndose en fases terminales o antes de la muerte.

La fiebre es el aumento de la temperatura corporal por encima de los límites normales debido normalmente a enfermedad, que se puede considerar como un síndrome complejo que incluye hipertermia, taquicardia y polipnea. Puede ser aguda de menos de 3 días y crónica de más de 5 días relacionada con infecciones graves y crónicas.

➤ **Frecuencia cardíaca y pulso**

La frecuencia cardíaca se considera un ciclo que se inicia con la contracción ventricular hasta el comienzo de la siguiente, en el cual se incluyen factores eléctricos, acústicos, cambios de presión, de flujo y de volumen, el intervalo entre latidos, y por lo tanto la longitud del ciclo. La frecuencia cardíaca es el número de latidos en un minuto, midiéndose en pulsaciones por minuto. Los valores normales de este parámetro en bovinos se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3: Valores normales de frecuencia cardíaca en bovinos adultos y jóvenes

Etapas productivas	Mínima	Media	Máxima
Vacunos adultos	40	60	80
Vacunos jóvenes	80	95	110

Fuente: Cano Celada, 2009.

El pulso es una onda de expansión, elevación y descenso de las paredes arteriales que se produce por el latido cardíaco, y la frecuencia del pulso va a depender solamente de las contracciones del corazón y no se ve afectada de manera directa por las alteraciones del sistema vascular periférico.

Si el número de contracciones cardíacas en vacunos adultos cuando se encuentran en reposo es superior a 90 pulsaciones por minuto se considera un importante síntoma de trastorno circulatorio, y en el caso de vacunos jóvenes se considera este síntoma cuando es superior a 100-110 pulsaciones por minuto.

➤ **Frecuencia respiratoria**

La respiración es el intercambio gaseoso entre el organismo y el medio ambiente, siendo regulada por el centro respiratorio, que incluye el centro inspiratorio y espiratorio en la médula y el centro neumotáxico en la protuberancia anular. Se expresa en número de movimientos respiratorios por minuto, y los valores normales de este parámetro se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores normales de frecuencia respiratoria en bovinos adultos y jóvenes

Etapa productiva	Mínima	Media	Máxima
Vacunos adultos	10	23	30
Vacunos jóvenes	15	30	40

Fuente: Cano Celada, 2009.

En los animales sanos se produce una respiración costoabdominal, en el que las paredes torácicas y abdominal intervienen de la misma manera en los movimientos respiratorios. Si predomina la respiración costal se está produciendo una disminución de la actividad del diafragma debido a causas mecánicas o a dolores, y la respiración abdominal se produce en procesos dolorosos de la pared del tórax.

Si se produce un aumento de la frecuencia respiratoria se está produciendo una polipnea, y si por el contrario disminuye, se está produciendo una bradipnea. La inspiración y expiración son ruidos intrapulmonares normales, mientras que los ruidos anormales son los estertores húmedos, secos y mixtos. Los estertores húmedos son sonidos causados por la entrada y salida del aire a través del moco viscoso e indican el inicio de un proceso infeccioso o una neumonía aguda. Por el contrario, los estertores secos son ruidos causados por el ingreso de aire con fuerza en los bronquios inflamados en la inspiración y expiración, e indican una neumonía crónica. En cualquiera de los casos, los mecanismos de defensa por parte del animal son el estornudo y la tos.

➤ **Movimiento ruminal**

La frecuencia ruminal nos permite evaluar el funcionamiento normal del aparato digestivo de los bovinos. La actividad del rumen puede variar por las características del alimento, la rumia, el meteorismo, los traumas, o la falta de alimento y agua.

El valor normal de este parámetro en vacuno es de 2 a 3 mr/2 minutos. Si se produce un aumento en los valores del movimiento ruminal se estará produciendo una hiperomotilidad ruminal, y si por el contrario se produce una disminución de dichos valores, se estará produciendo una atonía.

En general, cualquier anomalía que se produzca en cada una de las distintas constantes fisiológicas puede ser causa de enfermedad en el animal, y por ello se debe tener en cuenta.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE TRABAJO

4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL EMPLEADO

Los materiales necesarios en la monitorización de las variables fisiológicas de los animales, y las correspondientes instalaciones empleadas en el procedimiento de medida, son los siguientes:

➤ **Termómetro**

Como hemos visto en el apartado de sistemas de monitorización de variables fisiológicas, existen diversos dispositivos que permiten medir la temperatura de las vacas; termómetros líquidos, digitales o infrarrojos, cámaras térmicas, etc. El sistema empleado para la toma de muestras es un termómetro digital, que es el más común para realizar dicha medición y que también se emplea habitualmente en la medición de la temperatura en humanos. Este dispositivo se ha explicado en el correspondiente apartado, pudiéndose observar en la Figura 24.

En el momento de la elección del dispositivo para la medición de la temperatura se disponía de una cámara termográfica Seek Compact. Sin embargo, se descartó esta posibilidad de medición porque el funcionamiento de dicho dispositivo estaba relacionado a la compatibilidad con el sistema operativo, es decir, una aplicación iOS, siendo necesario disponer de un smartphone Apple para su utilización, del cual no se disponía.

También se decidió emplear otro dispositivo de temperatura a través de infrarrojos con el objetivo de realizar una comparación de la temperatura medida por ambos dispositivos. El termómetro de infrarrojos utilizado era parecido al que se puede observar en la Figura 26.

➤ **Fonendoscopio**

Se denomina también estetoscopio, y podemos encontrar desde fonendoscopios tradicionales hasta fonendoscopios electrónicos, que se utilizan para realizar la medición de las variables fisiológicas como el ritmo cardíaco y la frecuencia respiratoria. En este caso se ha utilizado un fonendoscopio tradicional, siendo el dispositivo más habitual para realizar dichas mediciones, y se utiliza también en seres humanos. Este dispositivo se ha explicado en el apartado correspondiente de sistemas de monitorización de las variables fisiológicas, pudiéndose observar en la Figura 34.

➤ **Manga de manejo**

En la toma de muestras no es necesario una manga de manejo para que los animales vayan entrando de manera individual y se puedan realizar las correspondientes mediciones de las constantes fisiológicas, sino que se podría realizar sin necesidad de retener e inmovilizar a los animales. De esta manera se podría evitar que los animales se alteren y sufran estrés, evitando con ello que los valores normales de las variables del ritmo cardíaco y del ritmo respiratorio se vean alterados, porque en estos casos se va a producir un gran aumento de dichos valores.

Sin embargo, en este caso se ha empleado una manga de manejo hidráulica (Figura 74) para la realización del procedimiento de medida. Se compone de un inmovilizador electromagnético manejado desde un panel de control con palancas, que permite sujetar e inmovilizar al animal cuando sea necesario para realizar distintas actividades como tratamientos sanitarios, inseminación artificial o ecografías de gestación.



Figura 74: Manga de manejo hidráulica. Fuente: Proyecto CIVEX.

4.2.2. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

La toma de muestras de las distintas variables fisiológicas se realizó en la explotación “Dehesa Carrascalino”, situada en el término municipal de Vega de Tirados, provincia de Salamanca.

Dicha explotación tiene una superficie de 540 ha, de las cuales 300 ha se destinan a tierra de cultivo y 240 ha a pastos, dedicando esta superficie de pastos a la ganadería extensiva de vacuno de carne. El número de animales en la explotación es de 257 hembras reproductoras con una base animal variada procedente de distintos cruces, y de 2 toros de la raza Limusina. El manejo se realiza en 5 lotes en los que la reproducción se realiza mediante inseminación artificial.

Los terneros obtenidos en el destete se destinan al cebo en la propia explotación, siguiendo el proceso productivo para la obtención de terneros de aproximadamente un año de edad con una canal de excelente conformación y de gran calidad para su comercialización, y por lo tanto se considera una explotación de ciclo cerrado.

El procedimiento de medida empleado para la toma de muestras de las distintas variables fisiológicas es el siguiente:

1. Selección de los animales:

Se realizó una selección de manera aleatoria de los animales, teniendo en cuenta el tipo genético y el origen, y su carácter (tranquilo o recio), para obtener datos de animales distintos entre sí. Aunque previamente se realizó una ecografía de confirmación de gestación a través del tacto rectal para seleccionar las vacas y las novillas que se encontraban en un estado de gestación más avanzado. El número de animales seleccionados fueron 10

vacas y 10 novillas, y su correspondiente número de crotal se puede observar en la Tabla 5.

El objetivo de seleccionar los animales más avanzados en la gestación era poder detectar las posibles variaciones de las constantes fisiológicas en los días más próximos al parto.

Tabla 5: Novillas y vacas seleccionadas para la medición.

Categoría	Número de crotal									
Novillas	1337	1356	2734	2735	2736	2739	2745	4065	4075	5613
Vacas	1404	5759	6087	8914	8916	9277	9796	9818	9827	9874

Fuente: Proyecto CIVEX.

Cabe destacar que se produjo una pérdida de uno de los animales, debido a que la vaca con el crotal número 9874 murió el día 20 de septiembre, y no se realizó la reposición de otra vaca en su lugar para la toma de muestras. Ese día la vaca no se incorporaba para poder realizar la toma de las mediciones y tras la visita del veterinario se le diagnosticó una rotura de útero, pudiendo ser producida por el ataque del resto de animales. Debido a este problema se indujo el parto de la vaca para intentar salvar el ternero, pero media hora después de la administración de los fármacos la vaca murió.

2. Separación de los animales:

Una vez seleccionados los animales, se separaron del resto de los animales de la explotación en un cercado aparte, en el que se localizaba la manga de manejo para facilitar su acceso los días que se realizaban la medición de los parámetros.

3. Toma de muestras

La toma de muestras comenzó el día 9 de agosto de 2018 y se realizó con un intervalo de 3-4 días, durante aproximadamente un mes en un horario por la mañana de 9 a 11 horas, y posteriormente desde el día 10 de septiembre en un horario por la tarde de 16 a 18 horas hasta que finalizó la toma de muestras.

El día de la toma de mediciones se introducían los animales en el corral de manejo para su acceso a la manga hidráulica de forma individual. Es importante tener en cuenta que la toma de mediciones en la manga de manejo puede generar miedo en los animales, debido a que se encuentran encerrados e inmovilizados (si fuera necesario), y como consecuencia de ello pueden sufrir estrés.

La medición de las distintas variables fisiológicas se realizó de la siguiente manera:

- a. **Temperatura corporal:** La medición de esta variable se realizó utilizando un termómetro digital, introduciéndolo por vía rectal (Figura 75), y un

termómetro infrarrojo para la obtención de la temperatura en el tejido mucoso de la parte exterior del recto, y así comparar ambas temperaturas. En la medición de la temperatura con el termómetro digital es necesario colocar bien el termómetro en la mucosa del intestino y que las heces no interfieran en la medición, y también es conveniente realizar una segunda medición para rectificar la medida y que sea lo más exacta posible, aunque en este caso solo se realizó una medición.



Figura 75: Medición de la temperatura corporal por vía rectal. Fuente: Cano Celada, 2009.

Cabe destacar que el termómetro infrarrojo se averió el día 24 de septiembre, y en ese momento se decidió dejar de utilizarlo porque no ofrecía unas mediciones muy precisas. Por lo tanto, en el momento de analizar los resultados de temperatura en los distintos animales no se muestran datos obtenidos con dicho dispositivo porque se decidió desecharlos.

- b. Ritmo cardíaco:** La medición de esta variable se realizó utilizando un fonendoscopio o estetoscopio tradicional. La zona de medición cardíaca¹⁰⁷ se determina en la parte izquierda del animal mediante el trazado de un ángulo de 90° a la altura del codo que comprende del tercer espacio intercostal al sexto (Figura 76).



Figura 76: Zona de medición cardíaca y medición con fonendoscopio. Fuente: Cano Celada, 2009.

- c. Ritmo respiratorio:** La medición de esta variable, al igual que la del ritmo cardíaco, se realizó con un fonendoscopio o estetoscopio tradicional. La zona de medición respiratoria se determina en la parte izquierda del

animal mediante el trazado de una línea que va desde el borde superior posterior caudal de la escápula, por debajo de las apófisis transversas de las vértebras torácicas y lumbares, hasta el penúltimo espacio intercostal, en el que se encuentra de forma aproximada la inserción superior del músculo diafragmático que separa la cavidad torácica de la abdominal. Dicha línea sigue hacia abajo y hasta el codo, y después continúa hacia arriba hasta el inicio en la escápula, formando un triángulo (Figura 77).

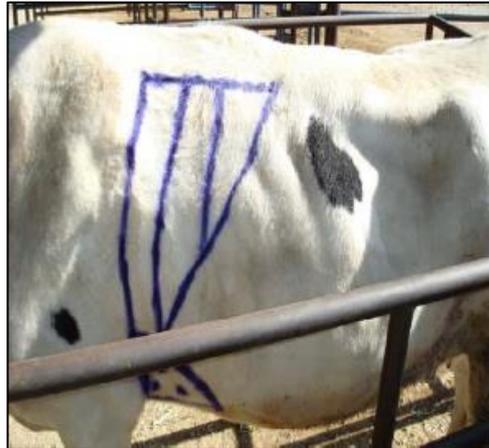


Figura 77: Zona de medición respiratoria. Fuente: Cano Celada, 2009.

- d. Movimiento ruminal:** En cuanto a esta constante fisiológica no se realizó ninguna toma de muestras, pero en el caso de realizarse existen dos técnicas; una de ellas se realiza directamente presionando con el puño de la mano firmemente en el flanco izquierdo del animal durante dos minutos, siendo importante distinguir movimientos profundos en el rumen, y la otra se realiza indirectamente mediante la utilización del fonendoscopio, el cual se coloca en la fosa paralumbar izquierda para escuchar los movimientos del rumen de agitación normal, y solo se registran los movimientos que se escuchan con una mayor intensidad.

En el procedimiento de la toma de muestras explicado anteriormente es importante tener en cuenta que se ha realizado con los animales encerrados e inmovilizados en una manga de manejo. Esto implica que los animales se alteren y sufran estrés, y como consecuencia algunas variables fisiológicas se vean afectadas con respecto a los valores normales.

- En cuanto a la temperatura corporal, el estrés no va a influir en su medición. Sin embargo, se podría realizar con otros tipos de equipos, sin necesidad de entrar en contacto con los animales, como termobolos o cámaras termográficas.
- En la medición del ritmo cardíaco, la retención del animal y el contacto físico producido por el ser humano con el fonendoscopio producen un aumento en dicha variable, con respecto a los valores normales. Por ello, la medición ideal se debe realizar sin tener contacto físico con los animales ni retenerlos en mangas de manejo. Esto se puede realizar con aparatos de telemetría a

través de dispositivos o wearables colocados en el animal para que detecten el ritmo cardíaco, y posteriormente envíen los datos obtenidos a un teléfono móvil en el que poder visualizar la información.

- En la medición del ritmo respiratorio, la retención del animal y el contacto físico producido por el ser humano con el fonendoscopio también produce un aumento en dicha variable, y por ello la medición ideal se debe realizar sin contacto físico y sin retener a los animales. Esta medición se puede realizar mediante la inspección visual del movimiento de las costillas flotantes, sin acercarse demasiado al animal.
- En el caso de la medición del movimiento ruminal, las dos técnicas explicadas anteriormente requieren el contacto físico con el animal, aunque se podría realizar con cualquiera de las tecnologías explicadas en el apartado de nuevas tecnologías y nuevos sensores para dicha variable fisiológica (collares de rumia, bolos ruminales...). Esta variable no se ve muy afectada por el estrés, pero si se utiliza una de dichas tecnologías no es necesario retener ni tener contacto físico con el animal.

4.3. METODOLOGÍA

El proyecto objeto de este estudio es un Proyecto I+D, de Colaboración Tecnológica entre Empresas y de carácter experimental, en el que he participado como investigadora durante la realización de las prácticas de empresa, que va dirigido a resolver mediante el uso de tecnologías una problemática habitual del sector agroalimentario, llegando a realizar una demostración de la implantación tecnológica en una ganadería de vacuno en extensivo.

Este proyecto se presenta con el título: “Desarrollo de un nuevo modelo de gestión eficiente del rebaño de vacuno de carne en extensivo, basado en el control individual de cada animal”, y el acrónimo de Proyecto CIVEX¹⁰⁸.

NECESIDAD DE ABORDAR EL PROYECTO

La necesidad de abordar el proyecto se debe a que la actividad ganadera del sector del vacuno de carne en extensivo es uno de los sistemas de producción más antiguos, que ha ido evolucionado muy lentamente a lo largo del tiempo. Aunque es importante destacar algunas de las mejoras que le han permitido evolucionar, entre las que se destacan:

- **La reordenación del territorio** agrario a través de la concentración parcelaria, que ha permitido a los ganaderos agrupar parcelas y delimitarlas con cercados para un aprovechamiento más racional, y la creación de infraestructuras agrarias (red de comunicación a través de caminos agrícolas, establecimiento de puntos de agua, construcción de instalaciones

¹⁰⁸ Proyecto CIVEX. Cooperativa Avícola y Ganadera de Salamanca, S. Coop. (COPASA) y APLIFISA, junto con ITAP de la Universidad de Valladolid.

de manejo...), permitiendo un impulso en la tecnificación de las explotaciones.

- El inicio y el desarrollo de los **programas de mejora genética** de las razas de vacuno para mejorar los índices productivos.
- La **implementación de los planes sanitarios** para la prevención y el tratamiento de enfermedades y las campañas de saneamiento ganadero, a través de vacunas y medicamentos eficaces.
- El **desarrollo del conocimiento de la nutrición animal** para atender las necesidades nutritivas de las distintas fases productivas de los animales, complementando el aprovechamiento de los recursos naturales con pienso.
- El **desarrollo de nuevos sistemas de alimentación** para el vacuno en extensivo como los nuevos cultivos forrajeros, ensilados, empacados o aprovechamiento de los residuos de la industria agroalimentaria.
- El **desarrollo en el conocimiento de la reproducción** mediante la aplicación de técnicas de control hormonal, inseminación artificial, e incluso transferencia de embriones.

Los sistemas de producción de vacas nodrizas, en comparación con otros sistemas ganaderos más intensivos (avicultura, porcino, vacuno de leche, vacuno de cebo...), han tenido escasos avances significativos.

En cuanto al manejo de los animales, las tareas de trabajo de un ganadero (visita diaria y recuento de los animales, control de las vacas reproductivas y verificación de partos, suministro de la alimentación suplementaria en épocas desfavorables, identificación y marcado de terneros, etc.) tampoco han cambiado en las últimas décadas, a pesar de la introducción de elementos mecánicos como todoterrenos, quads o motos para su búsqueda, debido a que los animales se encuentran en constante movimiento y en ocasiones es necesario la aportación de alimento como método de reclamo, con el consiguiente coste que esto supone.

La falta de evolución de estos sistemas en general hace que haya un escaso relevo generacional, siendo un sector poco atractivo. Por lo tanto, en estos sistemas es importante y necesario la integración de las nuevas tecnologías con las labores de supervisión y control de los animales, que permite realizar una gestión del trabajo más eficaz y precisa.

MANEJO ANIMAL CON EL APOYO DE TECNOLOGÍAS

El desarrollo de sistemas tecnológicos que se adapten a las explotaciones de vacuno de carne en extensivo permitiría:

- **Disponer de un sistema de geolocalización en tiempo real** tanto de las vacas nodrizas como de los sementales, que permite al ganadero tener controlados en todo momento a los animales sin tener que estar vigilándolos de manera continua en la explotación. Esto supone una reducción del coste relacionado con la maquinaria, el combustible y el personal.

- **Detectar estados fisiológicos importantes como el celo.** El control del celo permitiría al ganadero realizar una mejor gestión reproductiva, de tal manera que se detectarían animales con falta de actividad reproductiva. Esto evitaría mantener animales improductivos que suponen un alto coste en relación a la alimentación en la explotación, además de que la detección del celo incide en el índice de rentabilidad principal en la producción de terneros; la fertilidad.
- **Detectar partos** para permitir que el ganadero esté presente en ese momento y comprobar que el parto se esté produciendo adecuadamente, y en el caso de producirse un parto distócico poder actuar de la manera adecuada para evitar la muerte no solo del ternero sino también de la madre.
- **Detectar posibles situaciones de enfermedad** para permitir que el ganadero pueda intervenir a tiempo y se aplique el tratamiento adecuado, evitando la pérdida directa de animales.

En los últimos años, se está produciendo un aumento progresivo del censo de vacas nodrizas en todos los modelos de producción (Dehesa, España húmeda y Montaña), que hace necesario mejorar los índices de fertilidad con la posibilidad de producir más terneros con menos vacas nodrizas, y así obtener el máximo rendimiento a través de la optimización de los medios de manera sostenible y respetuosa con el medio.

Por lo tanto, este proyecto pretende desarrollar un nuevo sistema de manejo del rebaño de vacas nodrizas, basado en el estudio de las variables fisiológicas y el comportamiento de cada uno de los animales, realizándose mediante la observación en el campo y la incorporación de sensores individuales, que proporcionen datos para establecer la correlación con el estado de celo, cubrición, parto o enfermedad, y sincronizar dichos datos con una plataforma de ayuda a la toma de decisiones gestionada por los ganaderos y los veterinarios en tiempo real.

El proyecto tiene en cuenta el uso de las nuevas tecnologías como un sector estratégico de apoyo al manejo animal y el trabajo en las explotaciones ganaderas que permite optimizar los consumos de recursos, y como ayuda para mejorar la eficiencia a través del planteamiento de nuevos modelos de organización y trabajo. Sin embargo, es importante tener en cuenta factores de uso que permitan dar respuesta al ganadero con distintas adaptaciones para las peculiaridades y necesidades que presenta cada sistema de explotación. Por ello, se establecen unos requisitos que debe cumplir la solución de manejo animal con integración de tecnologías, tales como;

- Interfaces de comunicación de fácil comprensión para el usuario.
- Diseño sencillo e intuitivo que facilite el trabajo diario en la explotación.
- Empleo de dispositivos adaptados a los animales con diseño ergonómico y libres de mantenimiento (mantenimiento únicamente establecido entre el saneamiento animal, es decir, una vez por año).
- Sistema de aviso ante problemas.

- Identificación de parámetros a mejorar dentro de la explotación.
- Estimular la comunicación ganadero-veterinario.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS

El objetivo general del proyecto es la creación, desarrollo e implantación en el sector del vacuno de carne en extensivo de un nuevo sistema de gestión y manejo animal que permita; el conocimiento y la mejora del estado sanitario de los animales a través de la monitorización de las variables fisiológicas de forma no invasiva, y que permita mejorar los índices de fertilidad y prolificidad, optimizar la gestión y el control de la cabaña ganadera, así como mejorar la eficiencia económica de las explotaciones.

Para conseguir dicho objetivo será importante el trabajo diario del equipo veterinarios y de técnicos encargados de la visualización del comportamiento animal y de la recopilación de datos de los distintos sensores no invasivos.

Los objetivos técnicos específicos del proyecto son los siguientes:

- **Desarrollo del sistema de sensorización** para la monitorización del siguiente conjunto de procesos:
 - Temperatura, ritmo cardíaco y ritmo respiratorio del animal a través de un conjunto de sensores que permitan conocer las acciones realizadas los animales y su estado fisiológico.
 - Movimiento del animal.
 - Localización.
 - Estados de agitación.

Este sistema de sensorización deberá ser de bajo consumo energético, pequeño tamaño y bajo coste, identificando sensores con mejor relación calidad/precio del mercado. Para ello, se realizarán pruebas con distintos sensores de diferentes empresas, y así determinar cuáles son más adecuados.

- **Desarrollo de una plataforma de gestión** de la información para el procesado y el análisis de las variables físicas y fisiológicas. Esta información permitirá, mediante el conocimiento aplicado por los veterinarios y las observaciones realizadas previamente, determinar el estado de cada animal o del rebaño, así como la generación de avisos al ganadero. También la plataforma permitirá desarrollar un modelo de negocio basado en un pago por la instalación del sistema de manejo animal y un pago mensual por la gestión de los datos y las redes de aviso.
- **Mejora del conocimiento sobre los animales** cuando no hay posibilidad de tener contacto visual a través de la localización en tiempo real de todos los animales de la explotación empleando el sistema de geoposicionamiento Galileo.

- **Estudio remoto del comportamiento animal y del estado de salud** de la cabaña ganadera, siendo clave la obtención de datos a través de los distintos sensores, la observación directa del comportamiento animal, y el estudio y análisis de la relación de los datos obtenidos. Para la realización de este objetivo los veterinarios y técnicos de las empresas llevarán a cabo durante algunas semanas una observación diurna y nocturna de los animales, con el apoyo de un equipo de visión nocturna para realizar el trabajo a través de una observación lejana sin necesidad de entrar en contacto con los animales.

El estudio de los datos obtenidos y su relación con el comportamiento del animal permitirá desarrollar los algoritmos-estrategias de control de la plataforma de gestión, la cual permitirá generar una red de avisos en el caso de que exista algún problema en el animal.

- **Mejora de los índices de fertilidad y prolificidad** que permita una mejora en los rendimientos económicos de la explotación. Se toma como dato de partida un índice de fertilidad del 70%, en la región de Castilla y León porque es donde se va a desarrollar el proyecto, consiguiendo elevar con el sistema de manejo animal planteado en el proyecto a los óptimos europeos que se encuentran en torno al 85%. Esto implicaría un incremento superior al 20% en el número de animales producidos, suponiendo un incremento de los ingresos para el ganadero también del 20%.
- **Reducción de costes** (combustible, materias primas, mano de obra...) en el control del rebaño porque este sistema permite tener identificados a los animales en tiempo real para detectar su localización y su estado de salud, y con ello facilitar las tareas de trabajo que se realizan en la explotación.
- **Incrementos de los ingresos económicos** de la explotación debido a que el sistema tecnológico permitiría aumentar las tasas de fertilidad y mejorar el control del rebaño a través de la identificación de los momentos de monta de los animales y los períodos de fertilidad en el caso de la inseminación artificial. El beneficio económico también se consigue mediante actuaciones como:
 - Identificación de problemas en partos de animales.
 - Evitar partos distócicos.
 - Evitar problemas de enfermedades no identificadas en el animal y que no se han podido tratar porque no se ha tenido un control del rebaño.
 - Conocimiento de la localización de cada animal del rebaño sin tener que visualizarlos.
 - Aumentar la rapidez en el tratamiento de los animales si se detecta alguna anomalía en el comportamiento.
 - Identificar el nacimiento de los terneros y poder realizar un control sobre ellos.

Por lo tanto, estas mejoras se traducen en una mejora de los ingresos económicos de la explotación y en la tecnificación de la toma de decisiones que permiten mejorar el manejo mediante la innovación y el control.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

El planteamiento tradicional en la mejora del manejo animal no ha estado orientado a la mejora de los índices de fertilidad y prolificidad ni al manejo individual del animal dentro del rebaño, debido principalmente a la falta de tecnologías. Por ello, es necesario el desarrollo de sistemas con nuevas tecnologías que ayuden al profesional del sector agropecuario a mejorar los objetivos en materia de sostenibilidad, rentabilidad y fijación de población en el medio rural.

La integración de las nuevas técnicas en el manejo animal presenta una dificultad evidente para el sector agropecuario, pero a la vez presenta una solución que permitirá proporcionar a los ganaderos una plataforma tangible y comprensible basada en las nuevas tecnologías. Por lo tanto, la solución que se pretende desarrollar complementará al manejo animal existente en la actualidad, permitiendo aumentar la experiencia de los profesionales ayudándoles a tomar decisiones relativas al manejo del rebaño y lograr un diagnóstico en tiempo real de los animales.

El alcance científico/ganadero será el desarrollo de una nueva forma de gestionar el manejo animal extensivo y la comprobación de una metodología basada en las nuevas tecnologías, donde se priorice la sostenibilidad, la rentabilidad económica y el bienestar animal.

A nivel técnico se obtendrá una plataforma que gestione el conocimiento obtenido durante el estudio de los animales a través de la incorporación de sensores en el ganado vacuno extensivo de forma no invasiva con collares durante toda la vida del animal.

Los retos que aborda el proyecto en cada uno de los distintos aspectos claves de su desarrollo, teniendo en cuenta su estado actual, son los siguientes:

Metodología/Tecnología	Estado actual	Reto I+D+i
<ul style="list-style-type: none"> • Manejo animal 	Sistema con poca evolución en las últimas décadas y sin estudios que determinen el por qué en España los índices de fertilidad y prolificidad son tan bajos.	Desarrollar un estudio que relacione los bajos índices con las pautas de manejo animal en la actualidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Control del rebaño 	Se realiza una observación visual diaria para identificar el correcto estado de los animales.	Monitorizar el estado del rebaño sin observación visual y sin interferir en el modo de vida de los animales, más allá de lo imprescindible.

<ul style="list-style-type: none"> • Estudios entre “pares” 	<p>El estudio y comparación entre distintas ganaderías, base genética y tipo de actuaciones que se realizan impiden el conocimiento de problemas en ganaderías para solucionarlos.</p>	<p>Generar una plataforma de conocimiento que permita un asesoramiento de los ganaderos en cuanto a la identificación de problemas actuales que desconocen.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación y trazabilidad 	<p>Actualmente la única forma de conocer si un animal es adecuado (“bueno o malo”) es la propia percepción del ganadero y por los datos que se tienen de él, que generalmente son datos que indican si han tenido crías y la fecha.</p>	<p>Mejorar la capacidad de gestionar los animales a través de una trazabilidad propia en cada explotación, apoyada en los datos recogidos por el sistema de sensorización y los datos que ofrezca el ganadero en la plataforma.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Competencias 	<p>La única competencia identificada son los collares GPS, debido a que es un estudio que busca la evolución de los sistemas de manejo.</p>	<p>Generar una solución de gestión y recopilación de datos mutisensor de distintas variables físicas y fisiológicas para establecer una relación entre el conocimiento sobre los animales y las técnicas de manejo.</p>

Por lo tanto, las innovaciones que plantea el proyecto y su desarrollo tecnológico, con respecto al estado actual del manejo animal en sistemas de ganadería extensiva, son las siguientes:

- **Desarrollo de un nuevo sistema hardware** para el control y la obtención de datos a través de sensores inalámbricos integrados para su implantación en la monitorización de animales de explotaciones en extensivo. Este hardware tendrá como base de desarrollo la tecnología ARM CORTEX, la cual permite la transmisión de datos en tiempo real con un consumo reducido respecto a los estándares actuales de transmisión de datos.

Por lo tanto, se investigará el empleo de microprocesadores de ultra bajo consumo con tecnología ARM Cortex, los cuales permiten tomar datos de sensores y actuadores en tiempo real, y debido al consumo tan reducido les permitirá funcionar durante años con pequeñas baterías. A esto hay que añadir tecnologías que ofrecen el acceso a internet como la tecnología GPRS o la tecnología wifi, las cuales son fáciles de encontrar e implementar, pero tienen un elevado consumo energético. La tecnología wifi también tiene el problema de que precisa tener conexión a internet, y la tecnología GPRS tiene el problema de que son dispositivos conectados independientes. Estos problemas

se pretenden solucionar a través de la implementación de sistemas de comunicación disruptivos como son la tecnología SIGFOX y LORAWAN; son redes que permiten enviar y recibir pequeños paquetes de datos con un consumo que puede ser 200 veces inferior a las otras tecnologías y, por lo tanto, permiten desarrollar dispositivos que pueden funcionar mediante el abastecimiento de energía con placas fotovoltaicas integradas en el propio collar.

- La **adquisición de datos** a través de sensores no invasivos para la monitorización de variables fisiológicas como la temperatura, el ritmo cardíaco y la frecuencia respiratoria de los animales, así como datos sobre la geolocalización dentro de la zona de pastoreo en la que los animales se mueven libremente. La información se obtendrá en tiempo real a través de redes inalámbricas que se encargarán de gestionar dicha información.

La geolocalización de los animales es cada vez más demandada por los ganaderos de sistemas extensivos, por lo que con el proyecto se realizará una investigación con la finalidad de desarrollar un sistema con una autonomía mínima de un año (e incluso indefinidas) y que tome la posición del animal cada 15 minutos. Esto requiere una placa hardware con tecnología de ultra bajo consumo. También se empleará la tecnología de geolocalización Galileo porque permite una mayor precisión sin necesidad de incrementar el consumo de los dispositivos.

- **Desarrollo y pruebas de implementación de comunicaciones inalámbricas** a través de testeos y pruebas con prototipos de comunicación en campo, para lo cual se desarrollarán módulos de comunicación que midan la calidad de las comunicaciones realizadas, coberturas y optimización de la instalación de gateways (sistemas de comunicación y recepción de señales). Las tecnologías planteadas son SIGFOX, LORAWAN y NB-IOT, las cuales cuentan con plataformas de desarrollo para poder probar coberturas y ratios de paquetes enviados/perdidos, de tal manera que se estima ponderar el empleo de cada una de ellas dependiendo de la localización geográfica.
- **Desarrollo de un conjunto de algoritmos** para el procesamiento del conjunto de los datos de los animales obtenidos mediante una red inalámbrica de sensores para deducir el estado del animal y posibles situaciones de enfermedad. Por lo tanto, a través de la tecnología de análisis de datos (Big Data) y estudios de relación (redes neuronales) se tratará de establecer la relación entre los distintos casos y los datos obtenidos. Este proceso forma parte del testeo en campo con distintos prototipos y sistemas de comunicación.
- **Desarrollo de la plataforma de sistemas de gestión de datos.** La primera fase de este desarrollo consistirá en la creación de bases de datos para albergar los datos recibidos mediante las tecnologías de comunicación inalámbricas, y se considerará como parte esencial la recepción de datos con identificación de dispositivo emisor y marco horario. La fase de desarrollo de la plataforma de gestión de datos en el prototipo real necesita poder almacenar

un volumen inmenso de datos, así como ofrecerlos a los distintos veterinarios y ganaderos de forma organizada y comprensible. El servicio de almacenamiento de la información es entorno Cloud (“en la nube”) del tipo SAAS (Software as a Service), que permite generar aplicaciones cliente específicas para cada tipo de usuario, es decir, ganaderos, fabricantes y personal técnico.

Por lo tanto, la información generada estará disponible en cualquier tipo de dispositivo; ordenadores, tablets, smartphones con sistemas operativos IOS o Android y cualquier otro dispositivo que disponga de conexión web y que permita el funcionamiento de la app cliente. La plataforma también integrará los sistemas de aviso a la aplicación móvil, correo electrónico y SMS.

PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Dentro de la planificación establecida en el proyecto para la realización de las actividades he participado como investigadora durante el período de las prácticas de empresa en la siguiente actividad:

- **Estudio de la situación actual en el ámbito de la sensorización animal:**
Tipos de sensores, tecnologías y aplicaciones. Variables fisiológicas a recoger.
 - Subtarea 1: Estudio de las variables físicas y fisiológicas necesarias para la monitorización animal.
 - Subtarea 2: Análisis del estado actual de las nuevas tecnologías de sensorización inalámbrica aplicadas a la gestión eficiente de explotaciones ganaderas.

Esta tarea se encuentra dentro de la **Actividad 1**: Estudio y análisis del estado actual de las características del manejo animal en ganadería extensiva y del comportamiento pre-incorporación de sensores en la ganadería.

5. RESULTADOS

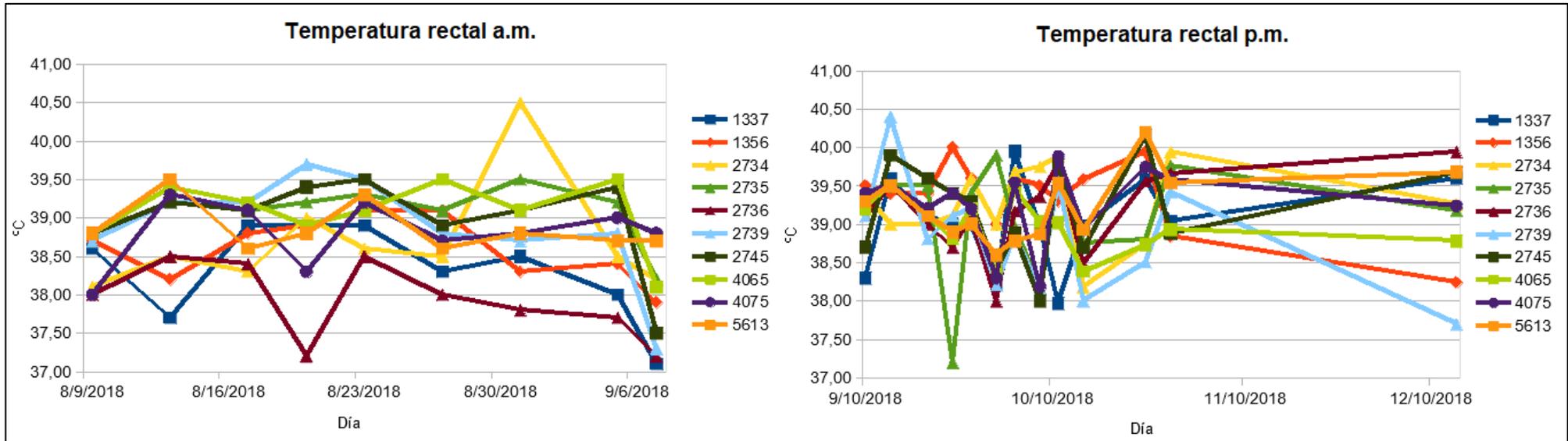


Figura 78: Temperatura rectal en novillas (Horario mañana y horario tarde). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CIVEX

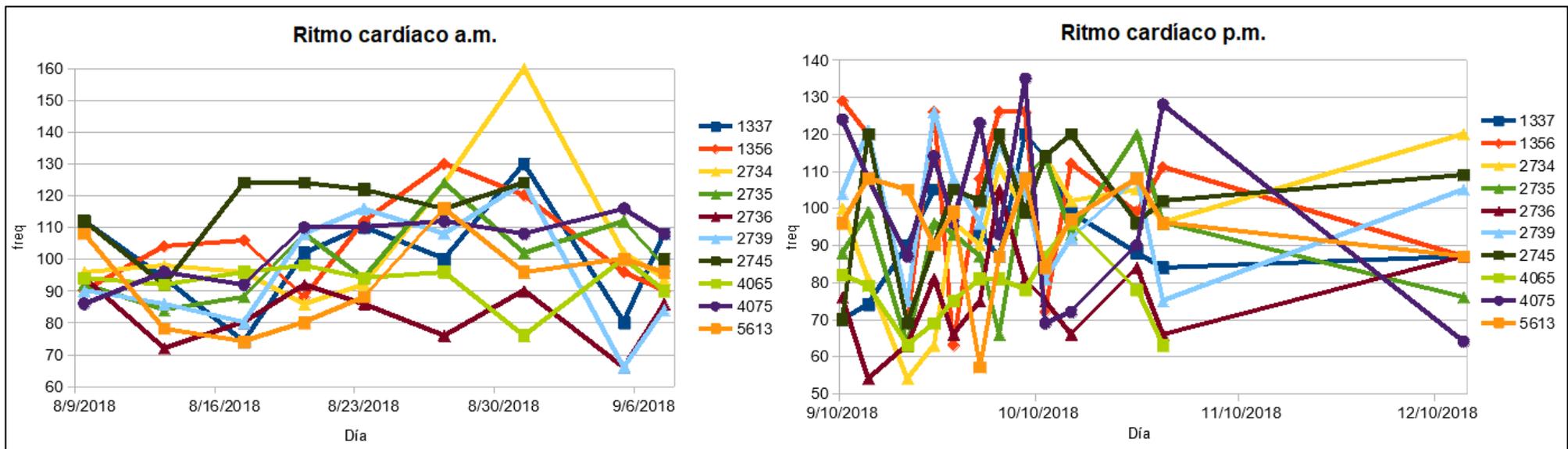


Figura 79: Ritmo cardíaco en novillas (Horario mañana y horario tarde). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CIVEX

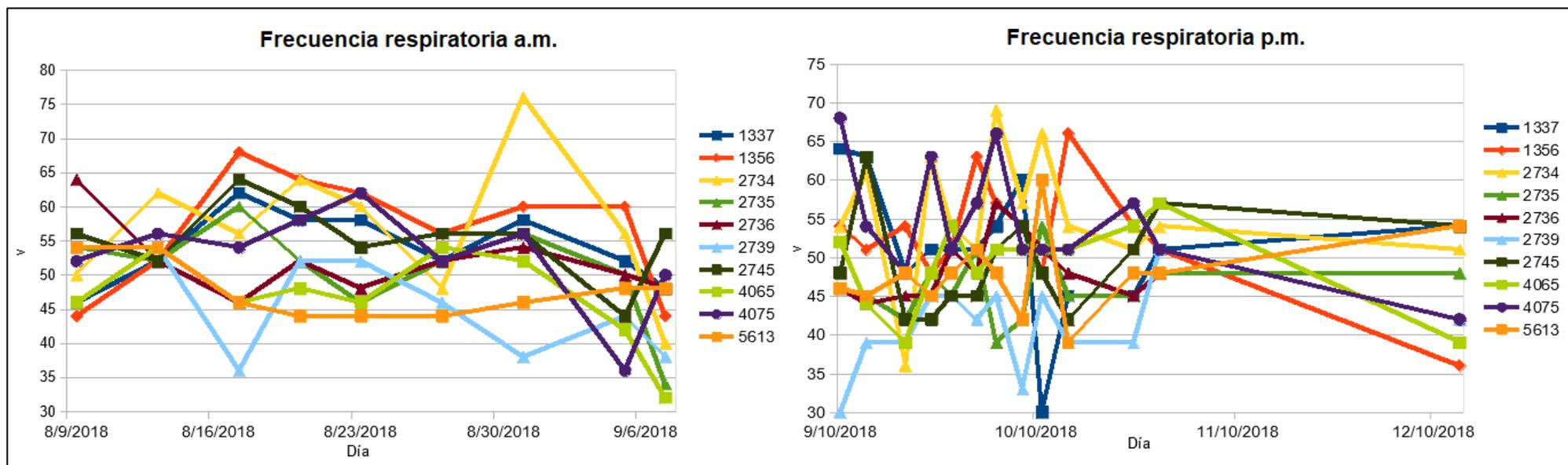


Figura 80: Frecuencia respiratoria en novillas (Horario mañana y horario tarde). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CIVEX

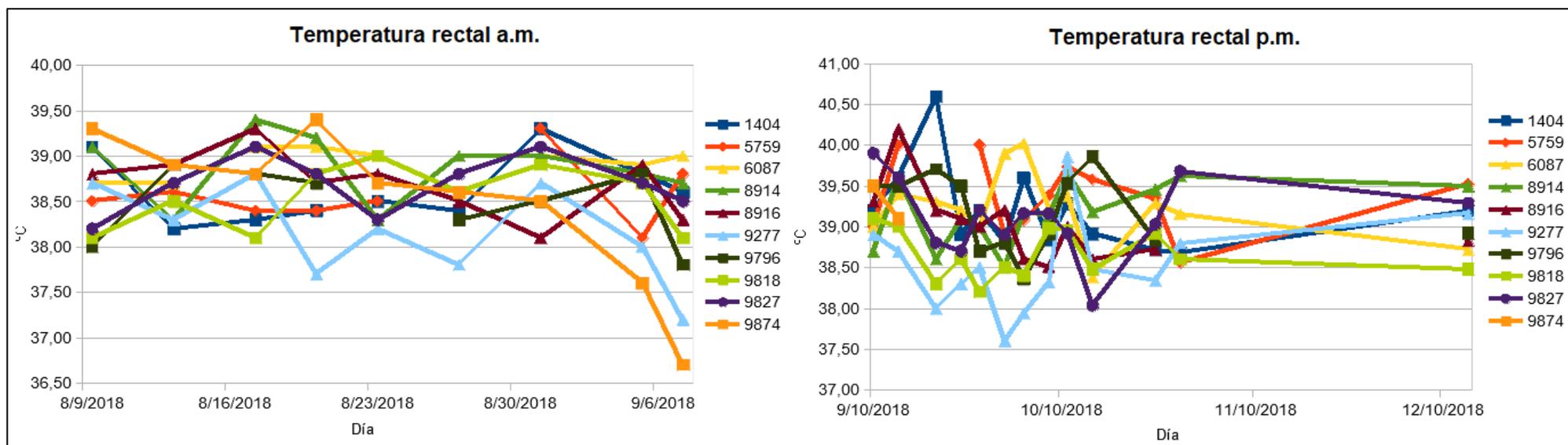


Figura 81: Temperatura rectal en vacas (Horario mañana y horario tarde). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CIVEX

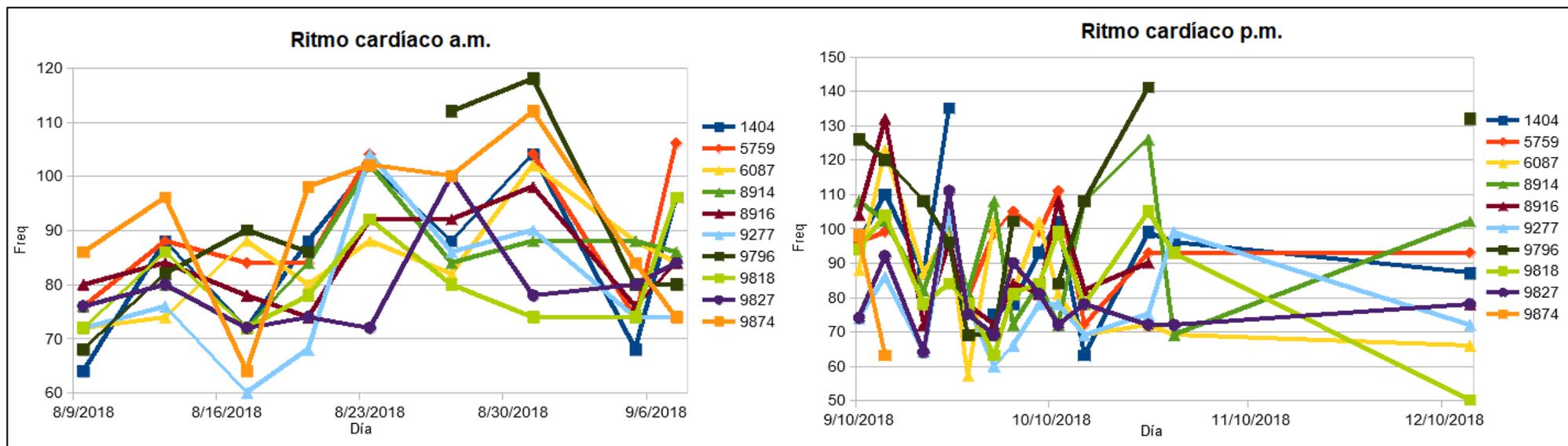


Figura 82: Ritmo cardíaco en vacas (Horario mañana y horario tarde). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CIVEX

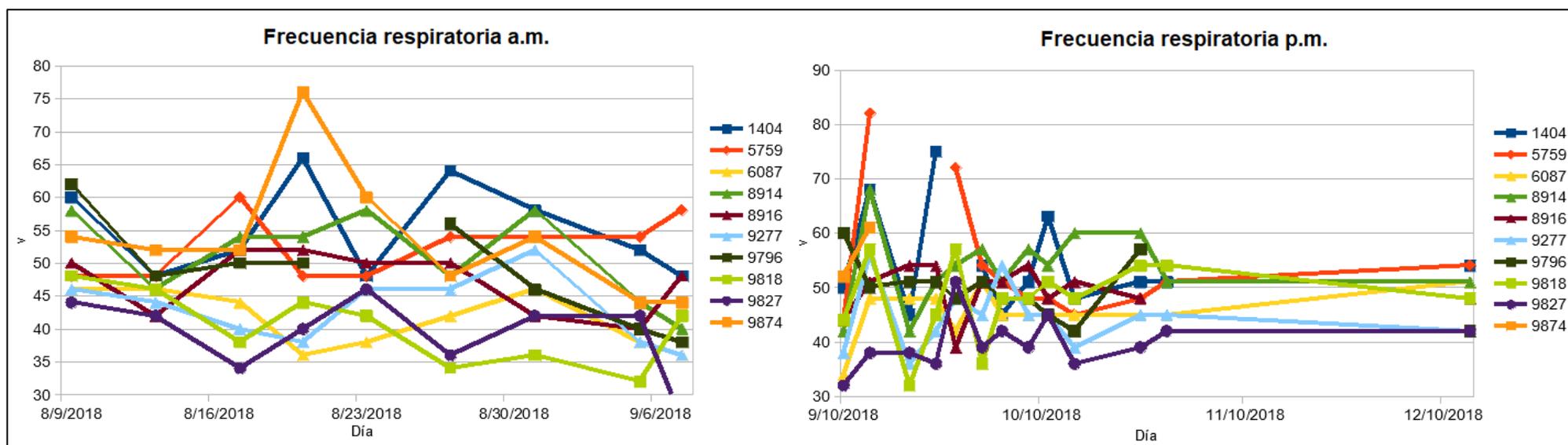


Figura 83: Frecuencia respiratoria en vacas (Horario mañana y horario tarde). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CIVEX

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A continuación, se va a proceder a realizar una **discusión** de los resultados obtenidos en el procedimiento de medida a través de su análisis, para posteriormente establecer las conclusiones.

Los valores medios obtenidos en la medición de las novillas en horario de mañana son; 38,7°C, 98,0 pulsaciones por minuto y 51,3 respiraciones por minuto, y en horario de tarde son; 39,1°C, 91,3 pulsaciones por minuto y 49,1 respiraciones por minuto. Mientras, que los valores medios obtenidos en la medición de las vacas en horario de mañana son; 38,6°C, 83,9 pulsaciones por minuto y 46,5 respiraciones por minuto, y en horario de tarde son; 39,1°C, 89,3 pulsaciones por minuto y 48,9 respiraciones por minuto.

Entre los resultados anteriores es importante destacar que el ritmo cardíaco y respiratorio es siempre bastante más elevado en las novillas que en las vacas, aunque se observa como dichos valores en las novillas son menores en el horario de tarde, en comparación con el horario de mañana, pudiéndose asociar a que los animales se han ido acostumbrando a entrar en la manga de manejo. Sin embargo, el valor más elevado de ritmo cardíaco obtenido de todos los animales, con un valor de 160 pulsaciones por minuto se registró el día 31 de agosto en la novilla número 2734. Este valor se puede haber producido principalmente por el estrés que se le ha ocasionado en la manga de manejo, ya que no se observó ningún síntoma de una posible enfermedad.

El estrés generado a los animales pudo ocasionar un aborto en una de las vacas (crotal número 9827), debido a un exceso de agarre en la realización de la toma de muestras. Esta vaca sufrió un aborto el día 5 de septiembre, y se observa que en la anterior medición (27 de agosto) registró un valor de ritmo cardíaco más elevado de lo normal, con un valor de 100 pulsaciones por minuto, siendo el día en que se produjo el exceso de agarre, con el consiguiente aborto.

Por lo tanto, en la monitorización de las variables fisiológicas es necesario no encerrar a los animales ni tener contacto físico para no generarles estrés, siendo necesario utilizar otros tipos de equipos a los empleados en la toma de muestras, que permitan recoger los datos sin entrar en contacto con ellos. En este aspecto es importante tener en cuenta las nuevas tecnologías que permiten realizar una medición indirecta a través de sensores incorporados en los animales de forma no invasiva, y que funcionan a través de telemetría, como son los explicados en el correspondiente apartado del presente estudio para los distintos parámetros.

En los resultados obtenidos de temperatura rectal, aunque en los gráficos no se puede detectar a simple vista, existe una pequeña variación de la temperatura obtenida en horario de mañana con respecto al horario de tarde, en relación a la precisión de los decimales obtenidos con el termómetro digital. En el caso de las mediciones realizadas por la tarde se obtienen resultados más precisos con dos decimales, y por el contrario en las mediciones de mañana solo se obtiene un decimal. Esto puede deberse a un cambio en el equipo de monitorización de la temperatura, empleándose otro tipo de termómetro más preciso.

También es necesario destacar que el empleo del termómetro de uso humano no es muy eficaz para realizar la medición en bovinos, debido a que no se puede introducir lo suficiente por vía rectal para que la medición sea más precisa, como sería el caso de los termómetros con sonda que se pueden introducir hasta aproximadamente 15 cm por vía rectal, y así obtener datos más precisos.

Inicialmente en el procedimiento de medida se disponía de un termómetro por infrarrojos para comparar la temperatura obtenida con ambos dispositivos, que se utilizaba midiendo la temperatura a distancia en el tejido mucoso externo del recto. Sin embargo, este equipo se averió y se decidió dejar de utilizarlo porque no ofrecía datos muy precisos, debido a que no funcionaba correctamente y había que repetir las mediciones, e incluso en esas repeticiones ofrecía resultados diferentes.

En cuanto a la temperatura como indicador de una posible enfermedad hay que destacar que, en el caso de las novillas, se han obtenido unos valores máximos de 40,4°C y 40,0°C los días 14 y 24 de septiembre en las novillas 2739 y 1356, respectivamente, que no se han podido asociar a ningún síntoma. Anteriormente, el día 20 de agosto una de estas novillas (número 2739) sufrió miasis, que es una enfermedad parasitaria ocasionada por las larvas de las moscas y afecta a los tejidos y los órganos del animal, obteniéndose ese día un valor de temperatura de 39,7°C, que se puede asociar con dicha enfermedad. Por lo tanto, estos datos no ofrecen una visión clara que permita asociarlos a las condiciones corporales que se pretende detectar.

Tampoco se puede determinar con exactitud una situación inminente de parto con los resultados obtenidos de la monitorización de las distintas variables porque durante el período de la toma muestras se produjeron varios partos (el 30 de agosto la novilla 2735, el 5 de septiembre las novillas 2739 y 2745, el 6 de septiembre la novilla 4065, el 16 de septiembre la vaca 1404, el 23 de septiembre la vaca 9818, el 26 de septiembre la vaca 26 de septiembre y el 30 de septiembre la vaca 6087), y no se detectan cambios significativos.

En el caso de la detección del parto con la temperatura corporal no se detectan los cambios característicos que se produce los días previos y el día del parto; la temperatura aumenta los tres días anteriores al parto y disminuye el día del parto. Se ha registrado solamente el valor máximo de temperatura corporal cuatro días antes del parto, con un valor de 40,6°C, en la vaca 1404.

En cuanto a la detección de parto teniendo en cuenta el ritmo cardíaco, en el caso de la novilla 2735 se obtuvo tres días antes del parto su valor más elevado, de 124 pulsaciones por minuto, en la vaca 1404 se obtuvo dos días antes del parto su valor más elevado, de 110 pulsaciones por minuto. Por el contrario, en el caso de la novilla 2739 se obtuvo el mismo día del parto su valor más bajo, de 66 pulsaciones por minuto, y en el caso de la vaca 6087 se obtuvo tres días antes del parto su valor más bajo, de 57 pulsaciones por minuto. Con estos resultados no es posible establecer una relación entre el ritmo cardíaco y el parto porque como se puede observar no todos los animales tienen el mismo patrón de variación, es decir, algunos animales en los días previos están más alterados y otros están más tranquilos.

En cuanto a la variable de frecuencia respiratoria cabe destacar que en la novilla 4065 se obtuvo un día antes del parto su valor más bajo, de 32 respiraciones por minuto, y en la vaca 9818 se obtuvo tres días antes del parto su valor más bajo, de 32 respiraciones por minuto. Sin embargo, en la vaca 8916 se obtuvo su valor más bajo, de 39 respiraciones por minuto, el día después del parto. Por lo tanto, tampoco es posible establecer una relación directa entre la frecuencia respiratoria y el parto con los resultados obtenidos porque no se producen las mismas variaciones en todos los animales.

Esta monitorización de los distintos parámetros en general no ofrece información útil para la detección de enfermedades o de parto porque el intervalo entre mediciones no permite detectar las breves alteraciones que se producen. Por ello, el empleo de las nuevas tecnologías y sensores permitirían realizar una monitorización constante del animal para detectar los cambios producidos en enfermedades, celo y parto. Esto implica beneficios para la explotación, en relación al mejor conocimiento del estado de salud de los animales, la mejora de la fertilidad y la prolificidad, la optimización de la gestión y el control del rebaño y la mejora de la eficiencia económica, que se han establecido con el objetivo general del presente estudio: conseguir una gestión más eficiente de las explotaciones a través de las tecnologías.

La mano de obra empleada para la realización de la toma de muestras mediante el manejo de los animales para que accedan al corral y a la manga de manejo los días en los que se produce la medición es un importante inconveniente por el coste que supone, en comparación con el empleo de sensores telemétricos, los cuales no requieren dicha mano de obra.

El estudio de la monitorización de las variables fisiológicas que se ha realizado nos permite extraer las siguientes **conclusiones**:

- En general, los valores más altos de ritmo cardíaco y frecuencia respiratoria se han obtenido de las mediciones de las novillas, tanto en horario de mañana como de tarde, en comparación con los valores obtenidos en las mediciones realizadas en las vacas.
- En la toma de muestras es importante destacar que los animales se encontraban encerrados en la manga de manejo, lo que supone que se obtengan valores elevados de ritmo cardíaco y frecuencia respiratoria, debidos al estrés que les produce estar encerrados y el contacto del fonendoscopio.
- Las medidas de parámetros relacionados con el estrés requieren de la utilización de dispositivos de medida que operen sin contacto físico. En la toma de muestras no se disponía de materiales que permitieran monitorizar a los animales sin entrar en contacto con ellos, y así evitar el estrés, que modifica considerablemente la frecuencia cardíaca.
- La determinación de la temperatura corporal con termómetros de uso humano se manifestó totalmente inadecuada para la aplicación rectal. El empleo de termómetros infrarrojos es *a priori* ventajoso, pero sólo si se realiza sobre

tejidos mucosos, y también el empleo de termómetros con sonda es más adecuado para realizar la medición.

- Los resultados muestran que no se pueden asociar los parámetros recogidos a situaciones evidentes de enfermedad o de parto, aunque en algunas situaciones de enfermedad o parto se han registrado cambios en los días anteriores y posteriores.
- El coste humano y material de la realización de las medidas mediante mangas de manejo es inasumible, siendo necesario el empleo de la telemetría para evitar el continuo manejo de los animales durante la toma de muestras.
- Algunos de los fenómenos que se trata de detectar, como enfermedades, celo o inminencia del parto, provocan alteraciones muy breves de los parámetros medidos, como es el caso de la temperatura, por lo que son precisos intervalos más cortos entre medida.
- El empleo de nuevas tecnologías y sensores ofrece la ventaja de realizar una medición constante de los parámetros para aportar información útil en la gestión de los animales, y permiten superar los problemas debidos a las grandes distancias propias de la explotación en Dehesa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acero Adámez, P. (2009). *Planificación y manejo de la explotación de vacuno de carne*. Tomo II: Colección "prácticas agropecuarias". pp. 13, 39-48.
- Alta Cow Watch; Repro – Health – Welfare; Accurate Heat Detection with Health Monitoring*. Alta CIALE. Disponible en http://australia.altagenetics.com/wp-content/uploads/sites/5/2018/08/20170601-Alta_Cow-Watch-Brochure_Australia_LR.pdf Consultado el 3 de febrero de 2019.
- Antuña Menéndez, A. (1999). Capítulo 2: Conservación de la productividad ganadera y el paisaje mediante el pastoreo por el ganado. In: Ángel A. Rodríguez Castañón, ed., *El ganado vacuno del Tronco Castaño*. pp. 25, 27, 30.
- Barrera Villanueva, G., García Mendoza, T., Barrena Guandulain, E., Nazario Meza, D.Z. y Mayo Ríos, K.Y. (2011). *Constantes fisiológicas del ganado bovino del C.B.T.A.* Disponible en <https://www.monografias.com/trabajos85/constantes-fisiologicas-bovinos/constantes-fisiologicas-bovinos.shtml> Consultado el 7 de marzo de 2019.
- Bedoya, C.C., Castañeda, V.H., y Wolter, W. (2007). *Métodos de detección de la mastitis bovina (Methods of detection of the bovine mastitis)*. Revista electrónica de Veterinaria. ISSN 1695-7504 2007, Volumen VIII, Número 9. pp. 2-7, 11, 14-15.
- Bolo intrarruminal*. Allflex, Sistemas de Identificación animal en Colombia. Disponible en <http://allflexcolombia.com/bolo-intrarruminal/> Consultado el 23 de febrero de 2019.
- Bolo veterinario de pH ruminal Moonsyst*. Agriexpo. Disponible en <http://www.agriexpo.online/es/prod/moonsyst-industrial-technologies-ltd/product-172172-105859.html> Consultado el 25 de mayo de 2019.
- Bolo veterinario de pH ruminal smaXtec*. Agriexpo. Disponible en <http://www.agriexpo.online/es/prod/smaxtec-animal-care-gmbh/product-172514-9493.html> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- Bolo veterinario de temperatura y pH telemétrico eBolis*. Agriexpo. Disponible en <http://www.agriexpo.online/es/prod/ecow-ltd/product-171548-14420.html> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- BoviCONTROL, Software de vacuno de carne, La mejor solución*. Innovación Ganadera. Disponible en <https://www.ganaderosonline.com/vacuno-de-carne> Consultado el 24 de febrero de 2019.
- Callejo Ramos, A. (2014). *Ganadería de precisión*. Mundo Ganadero Noviembre/Diciembre '14. pp. 28, 30-31.
- Callejo Ramos, A. (2015). *Alimentación de precisión en vacuno lechero*. Frisona Española 206 m/a. pp. 104, 108-109.
- Cámara térmica AC080 V*. TROTEC, Aparatos de medición. Disponible en <https://www.trotec24.es/medidores/temperatura/camara-termografica/camara-termografica-ac080v.html?rc=b78166a8b3> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- Cámara térmica EC060 V*. TROTEC, Aparatos de medición. Disponible en <https://www.trotec24.es/medidores/temperatura/camara-termografica/camara-termografica-de-ec060-v.html?rc=b78166a8b3> Consultado el 2 de febrero de 2019.

- Cámara Termográfica: Cómo funcionan y por qué pueden ser necesarias.* (2018). Promax Electrónica. Disponible en <http://www.promax.es/esp/noticias/400/camara-termografica-como-funcionan-y-por-que-pueden-ser-necesarias> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- Cámaras termográficas avanzadas: Cámara Compact XR.* Seek Thermal. Disponible en <https://www.thermal.com/compact-series-es.html> Consultado el 15 de febrero de 2019.
- Cano Celada, J.P. (2009). Práctica 1 Examen clínico. In: Trigo Tavera, F., Buntinx Dios, S.E., Ayala Rico, A., Caballero Gutiérrez, V., Flores Covarrubias, J., Suárez Gûemes, F., Valero Elizondo, G., Ortiz Hernández, A., Trujillo Ortega, M.E., y Fernández Saavedra, V. ed., *Manual de prácticas de clínica de los bovinos 1*. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 14-16, 17-21.
- Caracterización del sector vacuno de carne en España, Año 2016.* Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, MAPA. pp. 1, 3, 4.
- Casasús, I., Gabiña, D., y Casablanca, F. (2009). *La innovación en los sistemas ganaderos mediterráneos*. Mundo Ganadero Junio'09. pp. 27-28.
- Cell counter DCC.* DeLaval. Disponible en <https://www.delaval.com/es-bo/our-solutions/milking/salud-de-la-ubre-e-higiene/milk-testing/delaval-cell-counter-dcc/> Consultado el 13 de marzo de 2019.
- Chiavassa, C. (2012). *Collares que detectan actividad y rumia*. Sitio Argentino de Producción Animal; Grupo Chiavassa. pp. 1.
- Coe, S. *Los 5 principales usos de los drones en ganadería*. Disponible en <https://www.pilotando.es/usos-de-los-drones-en-la-ganaderia/> Consultado el 24 de febrero de 2019.
- ¿Cómo prevenir la salud de su ganado mediante sistemas de monitorización?* (2018). Humeco. Disponible en <http://www.humeco.net/noticias/como-prevenir-salud-ganado-sistemas-monitorizacion> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- Contador de células online OCC.* DeLaval. Disponible en <https://www.delaval.com/es-es/nuestras-soluciones/ordeno/cuidado-de-la-ubre/milk-testing/contador-de-celulas-online-occ-de-delaval/> Consultado el 13 de marzo de 2019.
- Control de temperatura.* Humeco, Diagnóstico veterinario. Disponible en <http://www.humeco.net/productos/control-de-temperatura> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- Cordero Sancho, M. (2016). *Conectan vacas a internet para producir más leche*. Disponible en <https://www.forbes.com.mx/conectan-vacas-a-internet-para-producir-mas-leche/> Consultado el 4 de febrero de 2019.
- Cuatro pilares para el modelo de producción español de carne de vacuno.* Vacuno de élite, publicado el 03/01/2018. Disponible en <http://www.vacunodeelite.es/cuatro-pilares-para-el-modelo-de-produccion-espanol-de-carne-de-vacuno/> Consultado el 30 de enero de 2019.

- Dairy solutions; Moo Monitor+*. Daviesway. Disponible en <https://www.daviesway.com.au/dairy-solutions/farm-monitoring-systems/moomonitor-cow-electronic-heat-detection-animal-health-monitoring> Consultado el 3 de febrero de 2019.
- Del Carmen Rodríguez, P., Sánchez Matamoros, A., Carvajal Valilla, J., Blanco Murcia, J., y Sánchez-Vizcaíno, J.M. (2008). *Aplicación de la termografía en el estudio de la ubre de los grandes rumiantes y en sus posibles complicaciones patológicas*. ISSN: 1988-2688; RCCV Vol. 2 (2). 2008, pp. 66-67.
- Détecteur de vêlage Alert'Vel*. Agri Technologies. Disponible en <https://www.agritechnologies.fr/nos-produits/d%C3%A9tecteurs-de-v%C3%AAlages/> Consultado el 18 de febrero de 2019.
- Detector de celo bovino*. Celotor. Disponible en <http://www.celotor.com/es/celotor> Consultado el 13 de enero de 2019.
- Detector de estro para vacas y yeguas*. Draminski. Disponible en <https://www.draminski.es/agri/detectores-de-estro/draminski-detector-de-celo-para-vacas-y-yeguas/> Consultado el 13 de febrero de 2019.
- Detector de mastitis 4Q*. Draminski, Electrónica en agricultura. Disponible en <https://www.draminski.es/agri/detectores-de-mastitis/draminski-detector-de-mastitis-4q/> Consultado el 13 de febrero de 2019.
- Detector de mastitis 4x4Q*. Draminski, Electrónica en agricultura. Disponible en <https://www.draminski.es/agri/detectores-de-mastitis/draminski-detector-de-mastitis-4x4q/> Consultado el 13 de febrero de 2019.
- Domínguez Martín, R. (2001). *La ganadería española: del franquismo a la CEE. Balance de un sector olvidado*. Historia agraria: Revista de agricultura e historia rural, ISSN 1139-1472, Nº 23, 2001, pp. 43, 45, 48.
- Drones pastores para controlar el ganado*. (2017). Campo galego. Disponible en <http://www.campogalego.com/es/carne-es/drones-pastores-para-controlar-el-ganado/> Consultado el 24 de febrero de 2019.
- Drones y robots: tecnologías para impulsar la ganadería*. (2018). BioEconomía. Disponible en <https://www.bioeconomia.com.ar/2018/08/16/drones-y-robots-tecnologias-para-impulsar-la-ganaderia/> Consultado el 24 de febrero de 2019.
- Ecógrafo veterinario portátil para animales pequeños y grandes iScan*. Draminski. Disponible en <https://www.draminski.es/vet/ecografos/draminski-iscan/> Consultado el 11 de febrero de 2019.
- Ecógrafo veterinario portátil para animales pequeños y grandes 4Vet mini*. Draminski. Disponible en <https://www.draminski.es/vet/ecografos/draminski-4vet-mini-2/> Consultado el 11 de febrero de 2019.
- Elizalde, E.F., Signorini, M.L., Canavesio, V.R., Cuatrin, A., Tarabla, H.D., y Calvino, L.F. (2009). *Medición de la conductividad eléctrica en leche como método diagnóstico de mastitis subclínica bovina*. Revista FAVE - Ciencias Veterinarias 8 (1). pp. 16.

- El mercurio queda prohibido.* Organización Meteorológica Mundial. Disponible en https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/Flyers/Mercury-Flyer_es.pdf Consultado el 24 de mayo de 2019.
- El sector de la carne de vacuno en cifras: Principales Indicadores Económicos.* (2018). Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, MAPA. pp. 5, 8, 11, 17, 19.
- El sistema más avanzado de monitoreo de vacas lecheras.* Smartbow. Disponible en <https://www.smartbow.com/es/home.aspx> Consultado el 4 de febrero de 2019.
- Estación de alimentación para bovinos (Lely Cosmix).* Agriexpo. Disponible en <http://www.agriexpo.online/es/prod/lely/product-169577-1422.html> Consultado el 13 de febrero de 2019.
- Estación de alimentación para terneros (Lifestart).* Agriexpo. Disponible en <http://www.agriexpo.online/es/prod/urban-gmbh-co-kg/product-172645-9340.html> Consultado el 13 de febrero de 2019.
- Estetoscopio veterinario electrónico.* eKuore; Productos, Veterinaria. Disponible en <https://www.ekuore.com/producto/ekuore-fonendoscopio-electronico-inalambrico/> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- Estudio del sector español de vacas nodrizas.* (2018). Subdirección General de Productos Ganaderos y Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. MAPA. pp. 4, 7-8.
- Facundo Becaluba, M.V., y Mario Becaluba, H. (2006). *Nuevas tecnologías para el manejo de la detección de celo.* Sitio Argentino de Producción Animal. pp. 2-3.
- Fonendoscopio 3M Littman classic II.* Humeco, Diagnóstico veterinario. Fuente: <http://www.humeco.net/producto/fonendoscopio-3m-littman-classic-ii> Consultado el 2 de febrero de 2019.
- Fuentes Navarro, E.; Universidad Nacional Agraria La Molina. (2016). *Innovaciones tecnológicas en ganadería: Hacia una producción basada en el uso de tecnologías de la información y la comunicación.* Actualidad Ganadera. Disponible en <http://www.actualidadganadera.com/articulos/Innovaciones-tecnologicas-en-ganaderia.html> Consultado el 31 de enero de 2019.
- Galileo; What is Galileo?* ESA (European Space Agency). Disponible en http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo Consultado el 18 de febrero de 2019
- García Álvarez, José Antonio E. (2015). *Así funciona el GPS.* Disponible en http://www.asifunciona.com/electronica/af_gps/af_gps_1.htm Consultado el 18 de febrero de 2019.
- Gestiona tu ganado vacuno.* VacApp. Disponible en <https://vacapp.net/es/#screenshots> Consultado el 24 de febrero de 2019.
- Gestión del rebaño. DeLaval DelPro™.* DeLaval. Disponible en <https://www.delaval.com/es-es/nuestras-soluciones/farm-management/> Consultado el 24 de febrero de 2019.

- Gobor, Z., Cariou, C., Seiferth, B., Thurner, S., Feucker, W., Tessier, C., Tekin, B., y Berducat, M. (2015). *Advanced pasture management through innovative robotic pasture maintenance*. IROS Workshop on Agri-Food Robotics, October 2nd, 2015, Hamburg, Germany. pp. 1-4.
- González Rumayor, V., García Iglesias, E., Ruiz Galán, O., y Gago Cabezas, L. (2005). *Aplicaciones de biosensores en la industria agroalimentaria*. Informe de Vigilancia Tecnológica. pp. 43, 52, 55, 57, 88 y 90.
- Hansen, M.F., Smith, M.L., Smith, L.N., Abdul Jabbar, K., y Forbes, D. (2018). *Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device*. Computers in Industry 98. pp. 14-19.
- Hendriks, I., y Wind, T. (2017). *Guía de buenas prácticas sobre el uso de tecnología para mejorar la gestión de pastos*. 4D4F Data Driven Dairy Decisions for Farmers. pp. 1-4.
- Identificación electrónica*. Azasa, Sistemas de identificación animal. Disponible en http://www.azasa.es/ID_Allflex_ID_Electronica.htm#Bolo_ruminal Consultado el 23 de febrero de 2019.
- Identificación y registro del ganado bovino. Regulación; Normativa nacional, Legislación nacional y Regulación en la UE*. MAPA. Disponible en <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/legislacion/regulacion-identificacion-bovino.aspx> Consultado el 23 de febrero de 2019.
- I.G.P. Carne de Ávila*. Denominaciones de origen e IGP, MAPA. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/IGP_Carne_Avila.aspx Consultado el 15 de mayo de 2019.
- I.G.P. Carne de Salamanca*. Denominaciones de origen e IGP, MAPA. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/IGP_Carne_Salamanca.aspx Consultado el 15 de mayo de 2019.
- I.G.P. Ternera de Aliste*. Denominaciones de origen e IGP. MAPA. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/igp_ternera_de_aliste.aspx Consultado el 12 de enero de 2019.
- I.G.P. Ternera Gallega*. Denominaciones de origen e IGP, MAPA. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/carnes/IGP_Ternera_Gallega.aspx Consultado el 15 de mayo de 2019.
- Informe final del Proyecto IDEA España (1998-2001)*. MAPA. pp. 37, 41, 43, 45.
- Informe semanal de Precios y Mercados. Sector vacuno de carne*. (2019). Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, MAPA. pp. 6, 10, 14, 18, 22, 24, 28.
- Informe trimestral del sector vacuno de carne. Enero 2019*. Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, MAPA.

- Installation of the TekSensor tag in livestock.* (2007-2008). TekVet Technologies. Disponible en http://www.tekvet.com/low/mgxroot/page_10744.html Consultado el 4 de febrero de 2019.
- Libey, T., y Fetz, E.E. (2017). *Open-Source, Low Cost, Free-Behavior Monitoring, and Reward System for Neuroscience Research in Non-human Primates.* *Frontiers in Neuroscience.* Volume 11; Article 265. pp. 1-4.
- Listado DOP/IGP de productos agroalimentarios.* Denominaciones de origen e IGP. MAPA. Disponible en <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/> Consultado el 12 de enero de 2019.
- Localizador GPS para vacas.* Digital. Disponible en <https://digital.com/product/localizador-gps-vacas-2/> Consultado el 22 de febrero de 2019.
- Localizador GPS solar para ganado y animales de granja.* 007espia. Disponible en <http://www.007espia.com/localizador-gps-solar-para-ganado-y-animales-de-granja> Consultado el 22 de febrero de 2019.
- Manejo de la eficiencia reproductiva.* Infocarne. Disponible en http://www.infocarne.com/bovino/funcion_reproductiva.asp Consultado el 11 de febrero de 2019.
- Manejo reproductivo del ganado bovino.* Infocarne. Disponible en http://www.infocarne.com/bovino/manejo_reproductivo_ganado_bovino.htm Consultado el 11 de febrero de 2019.
- Martín Bellido, M., Escribano Sánchez, M., Mesías Díaz, F.J., Rodríguez de Ledesma Vega, A. y Pulido García, F. (2001). *Sistemas extensivos de producción animal.* *Archivos de zootecnia* vol. 50, núm. 192, pp. 466-469, 471-473.
- Mezt, Rachel. (2018). *Subcutaneous Fitbits? These cows are modeling the tracking technology of the future.* MIT Technology Review. Disponible en <https://www.technologyreview.com/s/611144/cyborg-cows-are-coming-to-a-farm-near-you/> Consultado el 4 de febrero de 2019.
- Moocall Calving Sensor.* Moocall connecting you to your animals. Disponible en <https://moocall.com/collections/sensors/products/moocall-sensors> Consultado el 13 de febrero de 2019.
- Moocall Heat.* Moocall connecting you to your animals. Disponible en <https://moocall.com/products/moocall-heat-1> Consultado el 13 de febrero de 2019.
- Our solution; The VitalHerd™ solution.* Vital Herd Smart Management. Disponible en <http://www.vitalherd.com/> Consultado el 4 de febrero de 2019.
- Pedro J. García R., Antonio Hernández B., Héctor Díaz D., Arabia D. Zamora P., Joel Molina R., Belisario Domínguez M., Patricia Cervantes A., Adalberto Tejeda M., Alfonso C. García R., Sergio Vergara L., y Alma N. Ibarra M. (2015). *Diseño de un sistema de comunicación inalámbrica para ser usado en el monitoreo de temperatura y pH del rumen de bovinos.* *El Agro Veracruzano* 2015, Vol. II. pp. 138-140, 142-143

- Pérez García, M.A., Álvarez Antón, J.C., Campo Rodríguez, J.C., Ferrero Martín, F.J., y Grillo Ortega, G.J. (2004). *Instrumentación electrónica*. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo. Editorial Thomson. pp. 13, 41, 46-47.
- Podómetros AfiTag*. Afimilk, Vital know-how in every drop. Disponible en <https://www.afimilk.com/es/products/cows/sensors/afitag-pedometers> Consultado el 6 de febrero de 2019.
- Portillo García, J.I., Bermejo Nieto, A.B., y Bernardos Barbolla, A.M. (2008). *Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID: aplicaciones en el ámbito de la salud*. Informe de Vigilancia Tecnológica. pp. 31.
- Prohibición a la Importación de Bovino Vivo y Carne de Vacuno*. Barreras comerciales, Secretaría de Estado de Comercio, MINCOTUR. Disponible en <http://www.barrerascomerciales.es/es-ES/BuscadorBarreras/Paginas/ImportacionBovinoTurquia.aspx> Consultado el 12 de enero de 2019.
- ProScan Bovino. Ecógrafo para bovino. Máxima productividad*. CVM Diagnóstico Veterinario SL. Disponible en <https://cvm.es/ecografia/ecografo-veterinario-animales-produccion-proscan-bovino.html> Consultado el 11 de febrero de 2019.
- Proyecto CIVEX*. Cooperativa Avícola y Ganadera de Salamanca, S. Coop. (COPASA) y APLIFISA, junto con ITAP de la Universidad de Valladolid.
- Quantified Ag® Tag*. Quantified AG. Disponible en <https://quantifiedag.com/cattle-production/> Consultado el 4 de febrero de 2019.
- Rivera Rivera, A., y Alba Maldonado, J.M. (2017). *Revisión. NIRS en el análisis de alimentos para la nutrición animal*. Revista ingenio UFPSO-Vol. 13. pp. 199, 202.
- Ruata, R., Taverna, M., Galarza, R., Walter, E. y Ghiano, J. (2015). *Alarma de partos en vacas. Un desarrollo nacional*. INTA ediciones. pp. 2-4.
- Santamaría Echarte, C. (2009). *Gestión técnico – económica. Herramienta necesaria para la toma de decisiones en explotaciones ganaderas*. ITG Ganadero; Navarra Agraria. pp. 46, 50.
- Serrano Antolín, P. (2004). *Biosensores: la alianza entre la vida y la microelectrónica*. Grupo de Biosensores. Instituto de Microelectrónica de Madrid. Centro Nacional de Microelectrónica (CSIC). Coordinador: Laura María Lechuga Gómez. pp. 1-4.
- Silent Herdsman Neck Collar; How does Silent Herdsman work?* Afimilk. Disponible en <https://www.afimilk.com/products/cow-monitoring/afimilk-silent-herdsman-leading-neck-collar-fertility-management-system> Consultado el 3 de febrero de 2019.
- Sistema de detección de celo*. Legend connection to cows. Disponible en <http://www.legendconnect.com/es/products/sistema-de-detecci%C3%B3n-de-celo> Consultado el 6 de febrero de 2019.
- Sistema de detección de partos SmartVel*. Evolution international. Disponible en <http://evolutioniberica.es/Media/evolutionibericaxy/Monitorizacion%20de%20la%20>

- [granja/SmartVel%20-%20Detector%20de%20Partos.pdf](#) Consultado el 17 de febrero de 2019.
- Situación de mercado. Sector vacuno de carne.* (2018). Subdirección General de Productos ganaderos, MAPA. pp. 4, 7, 12, 14, 37.
- Soluciones para ganadería.* ISAGRI. Disponible en <https://www.isagri.es/ganaderia-1371.aspx> Consultado el 24 de febrero de 2019.
- Soria, R. y Rodríguez-Zúñiga, M. (1983). *El sector ganadero.* pp. 313-315, 318.
- Sorlander, M., Herer, T.M., y Heerah, A. (2012). *Monitor acústico.* Oficina Española de Patentes y Marcas, Publicación ES 2 379 478 T3, pp. 4.
- Tags SCR Heatime® HR; Los tags definitivos en tiempo real para la reproducción y el monitoreo de la salud de las vacas.* SCR by Allflex. Disponible en <http://www.es.scrdairy.com/index.php/cow-intelligence/tecnologia.html> Consultado el 4 de febrero de 2019.
- Tecnología para la detección de partos en las vacas.* (2018). Humeco. Disponible en <http://www.humeco.net/noticias/tecnologia-para-la-deteccion-de-partos-en-las-vacas> Consultado el 17 de febrero de 2019.
- Tamayo Torres, M. (2004). *La ecografía como medio de diagnóstico y evaluación de los procesos reproductivos en el bovino.* Sitio Argentino de Producción Animal. pp.1-2.
- Tangorra, F.M., Calcante, A., Nava, S., Marchesi, G., y Lazzari, M. (2013). *Design and testing of a GPS/GSM collar prototype to combat cattle rustling.* Journal of Agricultural Engineering 2013; volume XLIV: e10. pp. 71-72.
- Time for Cows (T4C). Making the right decisions with the right information.* Lely. Disponible en <https://www.lely.com/solutions/lely-t4c/> Consultado el 25 de febrero de 2019.
- Trazabilidad animal; Registro: Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN) y Legislación del SITRAN.* MAPA. Disponible en <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/trazabilidad-animal/> Consultado el 20 de marzo de 2019.
- Tu app de gestión ganadera.* TrazaFarm. Disponible en <https://trazafarm.com/#top> Consultado el 24 de febrero de 2019.
- Vel'Phone; Service de détection du vélage.* Medria Solutions. Disponible en <http://www.medria.fr/solutions/velphone/> Consultado el 17 de febrero de 2019.
- Ventura, V. (2016). *Medida electrónica de la temperatura.* Disponible en <https://polaridad.es/medida-electronica-temperatura-medir-termometro/> Consultado el 25 de mayo de 2019.
- Xercavins Simó, A., Varvaró Porter, A., Pedernera Romano, C., y Blanco Penedo, I. (2017). Avances en tecnología, parametrización y monitorización de enfermedades. In: Cantalapiedra Álvarez, J.J., Puerta Villegas, J.L., Yllera Fernández, M.M., Blanco Penedo, I., y Fernández Rodríguez, M.E., ed., *Bienestar animal. Salud y enfermedad en relación con el comportamiento.* pp. 43, 46-50.