Universidad Politécnica de Madrid
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica,
Alimentaria y de Biosistemas**

Departamento de Producción Agraria

MEJORA DE LA RENTABILIDAD DEL VACUNO DE CARNE

Tesis Doctoral

Javier López Paredes

Ingeniero Agrónomo

Madrid 2018

Universidad Politécnica de Madrid
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica,
Alimentaria y de Biosistemas**

Departamento de Producción Agraria

MEJORA DE LA RENTABILIDAD DEL VACUNO DE CARNE

Tesis Doctoral

Javier López Paredes

Directores:

Rafael Alenda

Prof. Dr. Ingeniero Agrónomo

María de los Ángeles Pérez Cabal

Prof. Dr. Ingeniero Agrónomo

Madrid 2018

Universidad Politécnica de Madrid

Tribunal nombrado por el Mgfc. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día..... de..... de 2018.

Presidente:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Secretario:

Suplente:

Suplente:

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día..... de..... de 2018, en la E.T.S.I. Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas.

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

A Raquel

*“Que la vida va en serio
uno lo empieza a comprender más tarde...”*

Jaime Gil de Biedma

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer al **Dr. Rafael Alenda** la oportunidad que me proporcionó y la ayuda durante estos cinco años, sin los intensos debates sobre la mejora genética este trabajo no se hubiese podido realizar. Agradecer a la **Dra. M^a Ángeles Pérez Cabal** su colaboración, paciencia y ayuda en la codirección esta tesis.

Gracias a la Federación Española de Criadores de Limusín y a la Confederación Nacional de Blonda de Aquitania por la cesión de los datos y la colaboración en este trabajo.

Quisiera mostrar una inmensa gratitud con el **Dr. José Antonio Jiménez-Montero** de quien he aprendido muchísimo durante todo este tiempo. También agradecer al **Dr. Óscar González Recio** su ayuda y confianza en mi trabajo, agradecer también al **Dr. Miguel Ángel Toro** la convivencia durante estos años.

Este trabajo no podría haberse realizado sin la colaboración de muchísima gente, gracias a **Josu Payás** (ABEREKIN), **Gorka Elorza** (CONABA), **Javier García Calvillo** (FECL), **Patxi Aranguren** (CONASPI), **Jacinto Rodríguez** (UCHAE), **Flor Linares** (COBADU), **Pilar Santamaría** (HAZI), **Juan José García** (ITACYL) y a las asociaciones y cooperativas que representan, he aprendido muchísimo de vosotros.

Gracias a la **Universidad Politécnica de Madrid** y a todo el personal del **Departamento de Producción Agraria** con el que he convivido durante este tiempo. Gracias a María por haber aguantado cada una de mis quejas.

Gracias a mi familia, **mis padres y hermanos**, especialmente a Álvaro, siempre he imaginado la vida como dos niños pequeños luchando con espadas de madera. A Cristina por escucharme y decir “Hola, hermano” cada vez que la he necesitado. A Paz por su valentía. A Mar por ser una segunda madre. A mis hermanos mayores, Fernando, Ignacio y Luis, por cada una de las veces que me han ayudado. A mis padres por ser un ejemplo de perseverancia y tesón, quizás la vida no les ha sonreído todas las veces que debería y a mi abuela Rosario. A la familia de Raquel por su confianza en mí.

Gracias a **mis amigos**, especialmente a Guillermo que ha escuchado cada una de las cosas que hacía con las “vacas”. A Santiago, con una paciencia infinita para tomar cervezas. A Fernando por su amistad. A mis amigos del equipo de rugby (Juan, Alberto, Sergio, Raúl, Juanjo, Alfonso (Sam), Alberto (Gorrión) y Manu) siempre pacientes con alguien tan ofuscado y “valiente” como yo.

Y mil y dos veces gracias a Raquel, porque con ella la playa dejó de estar llena de lluvia.

A todos, gracias.

ÍNDICES

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	RESUMEN.....	1
2	SUMMARY.....	7
3	INTRODUCCIÓN.....	13
3.1	Introducción general	15
3.2	Problemática de un programa de mejora genética en vacuno de carne y situación en España	17
3.3	Modelos bioeconómicos.....	21
3.4	Importancia de los caracteres relacionados con los costes de producción.....	23
3.5	Importancia de los caracteres relacionados con el valor de la canal	24
3.6	Importancia de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en vacuno de carne y su inclusión en los objetivos de selección en vacuno de carne	25
4	OBJETIVOS DE LA TESIS	29
5	MATERIAL Y MÉTODOS	33
5.1	Desarrollo de la función de beneficio y estimación de los pesos económicos	36
5.1.1	Descripción del sistema de producción.....	36
5.1.2	Modelo bioeconómico	37
5.1.3	Pesos económicos	38
5.1.4	Casos de estudio.....	38
5.2	Estimación de la importancia económica de la edad al primer parto y su relación con otros caracteres productivos y funcionales	42
5.2.1	Información utilizada.....	42
5.2.2	Análisis estadístico	46
5.2.3	Estimación de la importancia económica.....	49
5.2.4	Análisis genético.....	50
5.3	Predicción del valor de la canal a partir de las valoraciones lineales y los pesos vivos a 120 y 210 días.	52
5.3.1	Descripción de la población de estudio.....	52
5.3.2	Análisis estadístico y modelos de predicción	54
5.4	Establecimiento de los índices de selección e inclusión de la reducción de las emisiones de metano y estrategias para su mitigación.	56
5.4.1	Descripción de la población de estudio.....	56
5.4.2	Desarrollo de los índices de selección: índice de reposición e índice terminal	57

5.4.3	Inclusión de la reducción de las emisiones de CH ₄ en los objetivos de selección.....	59
5.4.4	Análisis genético.....	62
5.4.5	Estimación de la respuesta a la selección	64
6	RESULTADOS.....	65
6.1	Función de beneficio: aplicación de la beneficio a dos casos de estudio.....	67
6.1.1	Parámetros productivos	67
6.1.2	Parámetros económicos.....	68
6.1.3	Pesos económicos	69
6.2	Importancia de la edad al primer parto	73
6.2.1	Influencia de la edad primer parto en caracteres funcionales, de producción y caracteres de tipo.	73
6.2.2	Parámetros genéticos.....	74
6.2.3	Impacto económico de la edad al primer parto.....	76
6.3	Predicción del crecimiento canal y la conformación de la canal	79
6.3.1	Análisis de las valoraciones lineales	79
6.3.2	Correlaciones fenotípicas entre valoraciones lineales, pesadas en vivo y caracteres de la canal.	81
6.3.3	Modelos de predicción del crecimiento canal y la clasificación de la canal	85
6.4	Índices de selección e inclusión de la reducción de las emisiones de metano y estrategias para su mitigación.....	94
6.4.1	Índices de reposición y terminal.....	94
6.4.2	Inclusión de las emisiones de CH ₄ en el objetivo de selección	97
7	DISCUSIÓN	105
7.1	Función de beneficio y estimación de pesos económicos	107
7.2	Importancia de la edad al primer parto	111
7.3	Predicción de las características de la canal	115
7.4	Desarrollo de índice de reposición y terminal e inclusión de la reducción de las emisiones de CH₄ en el objetivo de selección	119
7.4.1	Índice de reposición e índice terminal	119
7.4.2	Inclusión de las emisiones de CH ₄ en el objetivo de selección	121
7.5	Discusión general	126
8	CONCLUSIONES.....	133
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

APÉNDICES	151
Apéndice 1: Desarrollo de la función de beneficio	153
Margen	153
Ingresos	153
Coste de cebo	154
Coste de producción.....	155
Apéndice 2: Estimación del peso adulto	159
Población utilizada	159
Metodología	160
Resultados	161
Apéndice 3: Estimación de la energía bruta por ternero comercializado	163
ANEXOS	165
Anexo 1: Ejemplo de informes fenotípicos.....	167
Anexo 2: Ejemplo de informe genético por explotación	170
Anexo 3: Información complementaria.....	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1.1. Caracteres y condicionantes, funcionales, de producción y de manejo utilizados en el desarrollo de la función de beneficio.....	40
Tabla 5.1.2. Necesidades energéticas individuales para terneros en cebo, novillas, nodrizas en lactación, mantenimiento y último tercio de gestación y vacas de desecho en cebo, para la Explotación A y la Explotación B.....	41
Tabla 5.2.1. Número de nodrizas con edad al primer parto entre 20 y 48 meses, partos totales, datos de facilidad de parto, peso al nacimiento, peso al destete y número de datos de canales de la progenie de las nodrizas de cada grupo para primíparas y para nodrizas.....	44
Tabla 5.2.2. Media fenotípica de caracteres funcionales, caracteres de tipo y caracteres de producción para cada uno de los grupos de edad al primer parto para nodrizas y para primíparas.	45
Tabla 5.2.3. Significación estadística de los efectos considerados para cada uno de los caracteres analizados y el número de datos incluidos cada análisis en primíparas.	47
Tabla 5.2.4. Significación estadística de los efectos considerados para cada uno de los caracteres analizados en nodrizas, porcentaje de varianza explicado por los efectos aleatorios incluidos y el número de datos incluidos en cada análisis para nodrizas.	48
Tabla 5.2.5. Caracteres y condicionantes utilizados para el desarrollo de la función de beneficio.	49
Tabla 5.2.6. Media ($\pm$ desviación estándar), número de datos y número de grupos de comparación (rebaño-año) incluidos en el análisis genético para cada uno de los caracteres.	50
Tabla 5.2.7. Efectos incluidos en los modelos utilizados en la valoración genética de cada uno de los caracteres.	51
Tabla 5.3.1. Media, desviación estándar (de) y número de datos (n) de los caracteres de la canal, pesos en vivo y valoraciones lineales para la población de Limusina, Blonda de Aquitania y la población total.	53
Tabla 5.3.2. Número de animales con información de caracteres de canal (crecimiento canal y clasificación de la canal) y peso a los 120 días, peso a los 210 días y valoraciones lineales en Blonda de Aquitania y en Limusina.	55
Tabla 5.4.1. Media (desviación estándar), número de datos, número de rebaños y años de información utilizados para cada uno de los caracteres.	56
Tabla 5.4.2. Caracteres y condicionantes utilizados para el desarrollo de la función de beneficio y estimación de los pesos económicos de los caracteres de los índices de reposición.....	58
Tabla 5.4.3. Valores medios utilizados en la estimación de las emisiones de CH ₄ (adaptado de IPCC, 2006).....	62

Tabla 5.4.4. Efectos incluidos en cada modelo de valoración para cada uno de los caracteres analizados.	63
Tabla 6.1.1. Parámetros productivos para la Explotación A y la Explotación B y en la situación óptima (A+ y B+) con menores períodos improductivos (intervalo entre partos de 365 días y edad al primer parto de 730 días).	67
Tabla 6.1.2. Parámetros económicos para la explotación A y B, ingresos y costes actuales y en la situación óptima (Explotación A+ y Explotación B+) con menores períodos improductivos (intervalo entre partos de 365 días y edad al primer parto de 730 días).	68
Tabla 6.1.3. Valores económicos expresados en €/ternero comercializado/año por unidad de variación de cada carácter (entre paréntesis) para la situación actual de la Explotación A y la Explotación B, y para la situación óptima, Explotación A+ y Explotación B+ con menores períodos improductivos (intervalo entre partos de 365 días y edad al primer parto de 730 días).	70
Tabla 6.2.1. Medias ajustadas por mínimos cuadrados y error estándar para cada uno de los grupos de edad al primer parto de caracteres funcionales y productivo en primiparas.	73
Tabla 6.2.2. Medias ajustadas por mínimos cuadrados y error estándar para cada uno de los grupos de edad al primer parto de caracteres funcionales y productivo en nodrizas.	74
Tabla 6.2.3. Heredabilidades y correlaciones genéticas con la edad al primer parto ($\pm$ error estándar) para los caracteres estudiados.	75
Tabla 6.2.4. Parámetros productivos para cada uno de los grupos de edad al primer parto.	76
Tabla 6.2.5. Parámetros económicos para cada uno de los grupos de edad al primer parto.	77
Tabla 6.3.1. Correlación entre cada valoración lineal y cada una de las tres componentes principales para la Población total, desviación estándar de las componentes principales y porcentaje de varianza incluida en cada componente y proporción de varianza acumulada.	79
Tabla 6.3.2. Correlaciones entre las valoraciones lineales y el peso a los 120 días y el peso a los 210 días en la población total incluyendo la información de la raza Blonda de Aquitania y Limusina.	82
Tabla 6.3.3. Correlaciones entre las valoraciones lineales y el peso a los 120 días y el peso a los 210 días en la población de Blonda de Aquitania y en la población de Limusina por separado.	83
Tabla 6.3.4. Correlación de Pearson entre peso a los 120 días, peso a los 210 días, valoraciones lineales y los caracteres crecimiento canal diario (CG) y clasificación de la canal (CC) y el número de datos utilizados (n), para la población de Blonda de Aquitania, Limusina y la población total (combinando la información de ambas razas).	84
Tabla 6.3.5. Modelos de predicción de crecimiento canal diario utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 210 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120	

y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania, Limusina y la Población total.	86
Tabla 6.3.6. Coeficiente de determinación de cada uno de los modelos de predicción del carácter crecimiento canal diario utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la Población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado (TOTAL _{BA} y TOTAL _{LIM})....	87
Tabla 6.3.7. Media del cuadrado medio del error y del coeficiente de correlación de Pearson ($\pm$ desviación estándar) de las 10 iteraciones de la validación cruzada, utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado (TOTAL _{BA} y TOTAL _{LIM}).....	89
Tabla 6.3.8. Modelos de predicción de la clasificación de la canal utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania, Limusina y la Población total.	91
Tabla 6.3.9. Coeficiente de determinación de cada uno de los modelos finales de predicción del carácter clasificación de la canal utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la Población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado (TOTAL _{BA} y TOTAL _{LIM}).....	92
Tabla 6.3.10. Media del error y del coeficiente de correlación de Pearson (desviación estándar) de las 10 iteraciones de la validación cruzada, utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la Población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado (TOTAL _{BA} y TOTAL _{LIM}).	93

Tabla 6.4.1. Varianza aditiva (σ_a^2), pesos económicos expresado en euros/ternero comercializado/año por unidad de desviación genética (€/TC/año/ σ_a) de los caracteres funcionales y de producción para el índice de reposición y terminal.	94
Tabla 6.4.2. Respuesta a la selección de los caracteres incluidos en el índice de reposición y el índice terminal expresado en la unidad del carácter y en euros/ternero comercializado/año (€/TC/año).	96
Tabla 6.4.3. Energía bruta (EB) expresada en MJ por ternero comercializado y año (MJ/TC/año), kg de CH ₄ por ternero comercializado y año procedente de fermentación entérica (M _e) y de estiércol (M _M) y porcentaje del total de CH ₄ producido por el ternero en su etapa de cebo (M _c) y la nodriza durante su etapa de novilla, vaca adulta y desecho (M _v).	97
Tabla 6.4.4. Varianza genética aditiva (σ_a^2), heredabilidad (h^2) y correlaciones genéticas con la producción de CH ₄ del ternero en cebo (M _c) y de la nodriza (M _v) de los caracteres funcionales y de producción.	99
Tabla 6.4.5. Pesos económicos expresado en euros/ternero comercializado/año por unidad de desviación genética (€/TC/año/ σ_a) de los caracteres funcionales, de producción y de metano incluidos en el índice para el Escenario 1 (índice de reposición), el Escenario 2 (tasa de carbono) y el Escenario 3 (cuota de emisiones por explotación).	100
Tabla 6.4.4. Respuesta a la selección expresada en unidad del caracter (entre paréntesis) y en €/ternero comercializado/año (€/TC/año) en el Escenario 1 (no incluyendo las emisiones de CH ₄) en el Escenario 2 (tasa de carbono) y en el Escenario 3 (cuota de emisiones por explotación) para cada uno de los caracteres incluidos en el índice y en el margen por ternero comercializado.	103
Tabla A.1. Media (desviación estándar), número de datos, número de rebaños y años de información utilizados para cada uno de los caracteres.	162
Tabla A.2. Efectos fijos y aleatorios considerados en los modelos de valoración genética de cada uno de los caracteres.	162
Tabla A.3. Heredabilidad (diagonal) y correlaciones genéticas entre los caracteres incluidos en la valoración multicaracter (fuera de la diagonal).	163
Tabla A.4. Varianza aditiva (diagonal) y covarianzas genéticas entre los caracteres incluidos en la valoración multicaracter (fuera de la diagonal).	163
Tabla A.5. Comparación de datos fenotípicos entre las 5 mejores y peores nodrizas de una explotación de raza Limusina.	171
Tabla A.6. Comparación de datos genéticos entre las 5 mejores y peores nodrizas de una explotación de raza Limusina.	173

Tabla A.7. Correlaciones fenotípicas (encima de la diagonal) y correlaciones genéticas (debajo de la diagonal) y desviación estándar de las estimaciones.....	175
Tabla A.8. Pesos económicos para (€/ternero comercializado/año) para los caracteres funcionales y de producción incluidos en el índice para el Escenario 1 (no incluyendo emisiones), el Escenario 2 (tasa de carbono) y el Escenario 3 (cuota de emisiones por explotación) por unidad de variación de cada carácter (entre paréntesis).....	176
Tabla A.9. Ponderación y respuesta a la selección en unidad del carácter y en euros por ternero comercializado y año (€/TC/año) en el índice de reposición actual y el índice de reposición aumentando el precio de suplementación en un 50% (índice de reposición 2).....	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1.1. Descripción del proceso de producción en vacuno de carne.....	36
Figura 5.2.1. Porcentaje de partos (%) por mes en la población de Blonda de Aquitania.....	46
Figura 6.3.1. Autovectores de las valoraciones lineales en la población total (Componente principal 1 vs Componente principal 2).	80
Figura 6.3.2. Autovectores de las valoraciones lineales en la población total (Componente principal 2 vs Componente principal 3).	81
Figura 6.4.1. Porcentaje de importancia de los caracteres incluidos en el índice de reposición.....	95
Figura 6.4.2. Porcentaje de importancia de los caracteres incluidos en el índice terminal.....	95
Figura 6.4.3. Distribución de las emisiones de CH ₄ producidos por ternero y por vacas expresados en kg de CH ₄ /ternero comercializado/año.....	98
Figura 6.4.4. Porcentaje de importancia de los caracteres en el índice para el Escenario 2.	101
Figura 6.4.5. Porcentaje de importancia de los caracteres en el índice para el Escenario 3.	102
Figura 7.4.1. Caracteres incluidos en el índice de reposición (♀) y en índice terminal (♂) y relación con los ingresos y costes incluidos en la función de beneficio.	119
Figura A.1. Estimación del peso adulto de las nodrizas activas de CONABA	162
Figura A.2. Ejemplo de informe fenotípico para la raza Limusina.....	169
Figura A.3. Ejemplo de informe genético para la raza Limusina.....	172

LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

AA: anchura ancas	DEE: Departament for Business, Energy and Industrial Strategy	GMD _d : ganancia media diaria en lactación
AC: anchura cruz		ICO: Índice Compuesto
AD: anchura de dorso	DS: desarrollo	INRA: Institut National de la Recherche Agronomique
AN: anchura nalga	EB: Energía Bruta	IPCC: International Panel of Climate Change.
AP: anchura pecho	EB _R : Energía Bruta recría	IPP: intervalo entre partos
AT: anchura trocánteres	EB _N : Energía Bruta nodriza	I _T : ingresos terneros
BA: Blonda de Aquitania	EB _{VD} : Energía Bruta vaca de desecho	I _{VD} : ingresos vacas de desecho
C _{alim} : coste de alimentación	ED: edad destete	LD: longitud dorso
CC: clasificación de la canal	EL: espesor lomo	LIM: Limusina
CC _{VD} : clasificación canal vaca de desecho	EPP: edad al primer parto	LN: longitud nalga
C _{CEBO} : coste de cebo	esac: edad sacrificio	LP: longitud pelvis
CEE: Comisión Económica Europea	EUP: edad último parto	m _{nac} : mortalidad al nacimiento
CG: crecimiento canal	FAO: Food and Agriculture Organization of United Nations	m _{dest} : mortalidad desde el nacimiento al destete
CONABA: Confederación Nacional de Blonda de Aquitania.	FECL: Federación Española de Criadores de Limusín	m _{cebo} : mortalidad en cebo
CONAFE: Confederación Nacional de Frisona Española	FP _D : facilidad de parto directa	m: mortalidad adulta
C _{PROD} : coste de producción	FP _M : facilidad de parto materna	MAPAMA: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación
D _{cebo} : duración cebo	fs: porcentaje de animales sacrificados por sexo.	M _C : Kg de CH ₄ por ternero comercializado y año procedente de terneros en cebo.
d.e: desviación estándar	GC: grosor cañas	
DE: digestibilidad.	GMD _C : ganancia media diaria en cebo	

M _e : CH4 procedente de fermentación entérica.	NRC: Nutrition Reseach Council	R _{VD} : tasa de desecho
MJ: Megajulio	NT: nota de engrasamiento	REG: relación entre la energía neta disponible en la dieta para crecimiento y la energía digerible consumida.
M _m : CH4 procedente de manejo de estiércol	P120: peso ajustado a 120 días	
M _V : Kg de CH4 por ternero comercializado y año procedente de vacas (novillas, nodrizas y vacas de desecho)	P210: peso vivo ajustado a 210 días	REM: relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida
NEC: necesidades energéticas cebo	PA: peso adulto	RN: redondez nalga
NEC _T : necesidades energéticas crecimiento ternero en cebo	p _a : precio del kg canal	SEUROP: Sistema de Clasificación de canales SEUROP (CEE, 1981 y 1982)
NEG: Necesidades energéticas vacas en gestación.	p ₂ : precio del kg canal desecho	SITRAN; Sistema de Trazabilidad Animal
NEL: Necesidades energéticas vacas en lactación	PC: peso canal	TC: Ternero comercializado
NEM _T : necesidades energéticas mantenimiento ternero en cebo	PC _{VD} : peso canal vaca de desecho	U.S. EPA : United States Environmental Protection Agency
NEM: necesidades energéticas mantenimiento	PD _D : peso al destete directo	UE: Unión Europea
NE _N : Necesidades energéticas nodriza	PD _M : peso al destete materno	UFC: Unidad Forrajera Carne
NE _R : Necesidades energéticas recría	PN: peso al nacimiento	UFL: Unidad Forrajera Leche
	PP: profundidad pecho	VL: valoraciones lineales
	PS: peso al sacrificio	η: rendimiento canal
	P _{UFC} : precio de la unidad forrajera carne	
	P _{UFL} : precio de la unidad forrajera leche	
	r: coeficiente de correlación de Pearson	
	R: tasa de reposición	
NE _{VD} : Necesidades energéticas vacas de desecho	R _a : tasa de reposición anual	
N _i : número de lotes	R ² : coeficiente de determinación	
N _p : número de partos	RD: rectitud dorso	

1 RESUMEN

RESUMEN

Esta Tesis doctoral aborda parte de la problemática que ha de solventar un programa de mejora de la rentabilidad en vacuno de carne. El programa de mejora de la rentabilidad ha de optimizar los caracteres que inciden en los ingresos y costes que genera un animal desde su nacimiento hasta su sacrificio, para ello se realizan cuatro trabajos.

En el primer estudio se diseñó un modelo bioeconómico o función de beneficio que describe el proceso de producción en vacuno de carne. Para ello se utilizó la información de dos explotaciones reales (A y B). Se estimaron parámetros productivos, resultados económicos y los pesos económicos de los caracteres incluidos en la función de beneficio relacionados con la rentabilidad de la producción de carne de vacuno. Además, se estimó el impacto en la rentabilidad que tendría una situación óptima con una reducción de los periodos improductivos, disminuyendo la edad al primer parto a dos años y el intervalo entre partos a 365 días, no alterando los demás caracteres y condicionantes. Las diferencias entre las dos explotaciones en la situación inicial, se debieron a unos mayores periodos improductivos de la Explotación A, lo que repercutió en su menor rentabilidad, con una diferencia de 62 €/ternero comercializado/año. En la situación óptima de fertilidad se estimó una mejora del margen de 178€ y 111€/ternero comercializado/año, para la explotación A y la Explotación B, respectivamente. Los pesos económicos se estimaron para dos grupos de caracteres, funcionales (edad al primer parto, intervalo entre partos, peso adulto, caracteres de desecho y supervivencia) y de producción (caracteres de crecimiento y clasificación de la canal). Al mejorar la fertilidad y la precocidad se redujo la importancia de los caracteres funcionales, mientras que los caracteres de producción mantuvieron o aumentaron su importancia.

En el segundo trabajo se estudió un carácter relacionado con los costes de producción, la edad al primer parto, analizando su relación con otros caracteres y la repercusión económica de su reducción. Para este trabajo se utilizó la información proporcionada por la Confederación Nacional de Blonda de Aquitania (CONABA), que incluyó información de 301 explotaciones desde 1985 hasta 2015. Los caracteres analizados se agruparon en caracteres reproductivos/funcionales (facilidad de parto, intervalo entre partos y número de partos), morfológicos (desarrollo muscular, desarrollo esquelético y aptitudes funcionales) y de producción (crecimiento canal (peso canal/edad al sacrificio), peso al nacimiento, peso al destete y clasificación de la canal). Se dividió a las vacas en 5 grupos según su edad al primer parto (20-27 meses, 28-31 meses, 32-35 meses, 35-39 meses y 40-48 meses). Los caracteres se estudiaron, en primer lugar incluyendo solo los resultados obtenidos por las vacas en su primer parto o por los hijos/as de esos primeros partos (primíparas) y en segundo lugar, incluyendo los

resultados de las vacas obtenidos en toda su vida productiva (nodrizas). En primíparas, solo se encontraron diferencias en el peso al nacimiento y en la clasificación de la canal, obteniendo un mayor peso al nacimiento los hijos de las vacas que tuvieron un primer parto más tardío. Por otro lado, los hijos de un primer parto más temprano obtuvieron un mayor valor de clasificación de la canal. Analizando los resultados durante toda la vida productiva de las nodrizas, se estimó un mayor peso al nacimiento de los hijos de las nodrizas con partos más tardíos y un mayor número de partos obtenido por las nodrizas con primeros partos más tempranos. La heredabilidad de la edad al primer parto fue de 0,17, con una correlación negativa con el número de partos (-0,29) y positiva con el intervalo entre partos (0,22). Se estimó también una correlación negativa con el efecto materno de la facilidad de parto (-0,39) y positiva con el efecto directo de la facilidad de parto (0,27). Las correlaciones con los caracteres de producción y morfológicos fueron bajas, excepto para el desarrollo esquelético (-0,29). A partir de los resultados obtenidos en el análisis fenotípico y genético, se puede afirmar que hubo una tendencia a producir un número mayor de terneros con partos más tempranos, sin una repercusión negativa en los caracteres de producción. La reducción de la edad al primer parto afectaría a la tasa de reposición, el número de hembras destinadas a reposición en el rebaño y al número de terneros comercializados anualmente. Esto supondría un aumento del margen de 35€/ternero comercializado/año en las nodrizas que tienen su primer parto más temprano frente a un parto tardío, debido a la reducción de los costes de producción.

En el tercer estudio se analizó la información del control de rendimientos realizado entorno al destete y al sacrificio por CONABA y la Federación Española de Criadores de Limusín (FECL). La información utilizada incluyó 20.802 terneros calificados para 16 valoraciones lineales, 34.855 y 34.823 terneros pesados a los 120 y 210 días y 24.344 terneros sacrificados. Se realizó un análisis de componentes principales de las valoraciones lineales utilizando la información de ambas poblaciones, observándose tres grupos. El primer grupo incluyó las anchuras, la profundidad de pecho y las valoraciones relacionadas con la nalga, este grupo describió el desarrollo muscular del ternero. El segundo grupo estuvo formado por las longitudes de dorso y pelvis y el desarrollo, describiendo el tamaño o desarrollo esquelético del ternero. El tercer grupo lo formaron el grosor de las cañas y la rectitud de dorso. En un segundo análisis, se estimaron las correlaciones entre valoraciones lineales y los pesos a 120 y 210 días, siendo los caracteres más relacionados los del segundo grupo con correlaciones bajas o moderadas (0,39-0,45). Por otro lado, las correlaciones de las valoraciones lineales y los caracteres de canal fueron bajas (0,00-0,29). Los pesos a los 120 y 210 días tuvieron una correlación moderada con el crecimiento canal, siendo el carácter más correlacionado el peso a los 210 días (0,68-0,73). La clasificación de la canal tuvo unas correlaciones bajas con los pesos al destete y las valoraciones lineales. Finalmente, se diseñaron siete modelos de predicción que combinaron las

valoraciones lineales y las pesadas a 120 y 210 días para predecir el crecimiento canal y la clasificación de la canal. Para el crecimiento canal el mejor predictor individual fue el peso a los 210 días, obteniéndose las mejores predicciones del modelo que combinaba la información de las valoraciones lineales y el peso a los 210 días. Para la clasificación de la canal se obtuvieron peores predicciones, debido probablemente a la baja variabilidad del carácter. Se diseñó un mismo modelo de predicción unificando la información de ambas poblaciones obteniendo resultados similares para el carácter crecimiento canal y la clasificación que en los modelos que utilizaban las poblaciones por separado. El modelo de predicción del crecimiento canal incluyó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales de anchura de cruz y de pecho, desarrollo/estatura, profundidad de pecho y rectitud de dorso. El modelo de predicción de la clasificación de la canal obtuvo peores predicciones que el crecimiento e incluyó las valoraciones lineales de anchuras de cruz, dorso, nalga y trocánteres, longitudes de pelvis, desarrollo, redondez de nalga y grosor de las cañas y el peso a los 210 días.

En cuarto lugar, se elaboraron dos índices de selección basados en el control de rendimientos de CONABA. A partir de la función de beneficio, utilizando para su diseño la información proporcionada la Confederación Nacional del Blonda de Aquitania (CONABA), se obtuvieron las ponderaciones económicas de los caracteres en el índice de reposición para seleccionar hembras destinadas a reposición (futuras reproductoras), y en el índice terminal, para seleccionar animales con alto valor al sacrificio y evitar problemas de parto. El índice de reposición incluyó caracteres funcionales, peso adulto (consumo), edad al primer parto, intervalo entre partos, peso al destete materno, peso canal de desecho, clasificación canal de desecho y facilidad de parto materna, y caracteres de producción, peso al destete directo, facilidad de parto directa, crecimiento canal y clasificación de la canal. El índice terminal incluyó el efecto directo de la facilidad de parto, el efecto directo del peso al destete, el crecimiento canal y la clasificación de la canal. La importancia de los caracteres funcionales y de producción fue del 48% y 52%, respectivamente. Al aplicar el índice de reposición se esperaba un ligero incremento del peso adulto y una reducción de los periodos improductivos (edad al primer parto e intervalo entre partos), con una mejora de los caracteres de la canal. Se estimó una respuesta económica de 64,84€/ternero comercializado y año. Por su parte, al aplicar el índice terminal se esperaba un leve deterioro de la facilidad de parto directa y una mejora del crecimiento canal y la clasificación de la canal, con una respuesta económica de 70,18€/ternero comercializado/año. Se observó que si se seleccionan nodrizas utilizando el índice terminal se obtendría un deterioro de los caracteres funcionales, debido a un aumento del peso adulto y de los periodos improductivos.

En este último estudio, además se estimaron las emisiones de metano (CH_4) producidas por terneros y por el rebaño de vacas, incluyendo novillas, nodrizas y desecho. Las emisiones se estimaron para 7.498 terneros y 4.573 vacas de CONABA, producidas por fermentación entérica y manejo del

estiércol. Las emisiones procedentes de vacas y procedentes de terneros se incluyeron en el índice de reposición, planteando dos estrategias/escenarios para su reducción, la imposición de una tasa de carbono y el establecimiento de una cuota por explotación. Con la inclusión de la tasa de carbono, los caracteres relacionados con las emisiones se incluyeron con un 4,6% de importancia y en el escenario de cuota con un 1,8%, según la ponderación estimada a partir de la función de beneficio. De acuerdo a la respuesta esperada, al aplicar el índice de reposición se esperaría un aumento de las emisiones en 2,62 kg de CH₄/ternero comercializado/año. Las dos estrategias propuestas supondrían una menor respuesta para este carácter. En el escenario de tasa se pondría un mayor énfasis en la selección a favor de los caracteres funcionales, obteniéndose un deterioro de la rentabilidad de -4,06€/ternero comercializado/año y una reducción de las emisiones respecto a la respuesta esperada al aplicar el índice de reposición de -1,47 kg/ternero comercializado/año. En el escenario de cuota se pondría un mayor énfasis en los caracteres de producción, obteniéndose una ligera mayor respuesta del margen de +1,52 €/ternero comercializado/año y una ligera reducción de las emisiones respecto al índice de reposición. No obstante, en el caso de cuota el número de animales de la explotación variaría, con el objetivo de adecuarse a la cuota de la explotación. De acuerdo a los resultados, se espera una reducción de las emisiones seleccionando a favor de la reducción de los periodos improductivos y el peso adulto. Se espera unas mayores emisiones cuando se selecciona a favor de los caracteres de producción, siendo los caracteres de mayor repercusión económica. Los dos escenarios propuestos reducirían las emisiones por unidad de producto a expensas de una menor rentabilidad.

2 SUMMARY

SUMMARY

This Thesis aims to overcome some of the problems associated to the development of a breeding program to improve the profitability in beef cattle. A robust breeding program should include all the traits from birth to slaughter related to the incomes and costs. This Thesis is divided in four different parts: profit function description and development; production cost trait analysis, study of age at first calving; weaning and slaughter statistical data assessment, prediction of carcass weight gain and conformation using weaning traits; and selection indexes development.

A bioeconomic model called “profit function” was developed. This model described the overall beef cattle production process through biological traits and production system conditions. The information used in this study was obtained from two different herds (A and B). This profit function provided an estimation of the productive and economic results, and economic weights traits. The dissimilarities between the results obtained for A and B herds were mainly caused by larger non-productive periods in A with resulting profit variations of 62€/slaughtered calf per year. The shortening of age at first calving and calving interval improved the profits in 178€ and 111€/slaughtered calf per year for A and B herds, respectively. The economic weights were estimated for two different groups of traits: functional (age at first calving, calving interval, mature weight, culled cow traits and mortality/survival rates) and production ones (growth traits and carcass classification). An augment of precocity and fertility significantly increased the relevance of production traits on the profit with a slight decay of functional traits importance over production traits.

Secondly, an assessment of the age at first calving was performed including the relationship with other functional, production and type traits. The data from 301 herds from 1985 to 2015 was provided by the National Association of Blonde d’Aquitaine Breeders (CONABA). The traits under study were divided in three different groups: functional/reproductive (calving ease, calving interval, and number of calving), type (skeletal development, muscle development and functional aptitudes), and production traits (birth weight, weaning weight, carcass weight gain and carcass conformation scores). The data was also divided in five set according to the age at first calving, 20-27 months, 28-31 months, 32-35 months, 35-39 months, and 40-48 months. The information was postprocessed and clustered into two set of data for primiparous cows or result of progeny from first calving (primiparous) and for all cows’ calvings (cows). The only significant traits found in primiparous cows were late age at first calving, resulting in heavier birth weight calves, and early age at first calving, resulting in calves with greater carcass conformation scores. Early age at first calving was found to be significant in its effect on birth weight and the number of calvings over a cow’s lifetime, with lighter calves. Heritability for age at first calving was 0.17. Genetic correlation for age at first calving with direct calving ease was

positive (0.27) and with maternal calving ease is negative (-0.39). Age at first calving showed a negative genetic correlation with lifetime number of calvings (-0.29) and a positive correlation with calving interval (0.22). Correlations with production and type traits were low, except for skeletal development (-0.29). Based on phenotypic and genetic analysis, there was a tendency for early-calving cows to produce a greater lifetime number of calves with less muscle but good carcass growth. Age at first calving affected the number of replacement heifers in the herd, and number of animals slaughtered each year. Shortening the age at first calving from 3 year to 2 year let to a profit increase of 35€/slaughtered calf per year over lifetime cow production due to reduction on heifer rearing cost and an increase of slaughtered animal per year.

Thirdly, this document analyzed the data around weaning and at slaughter from the National Associations of Breeders of Limousine (FECL) and CONABA. The dataset included 20,802 calves classified for 16 specific locations of the animal, 34,855 calves weighted at 120 days, 34,823 calves weighted at 210 days and 24,344 slaughtered calves. The principal components analysis for linear scores established three different groups of traits accounting for 71% linear scores variance. The first group of linear scores was related to widths and hindquarter traits and defines the calf muscle development. The second group included back and pelvis lengths and stature and determined the skeletal development or size of the calf. The third group was composed by two independent traits, topline and cannon bone circumference. These groups of traits were indistinctly observed for the two populations considered separately or joining the linear scores of the two breeds. An estimation of the Pearson correlations between linear scores and live weights at 120 days and 210 days was also performed. The correlations were low or moderate with higher correlations in the second group of linear scores (0.39-0.45). The correlations between linear scores and carcass traits were low (0.00-0.29). The correlations for live weights at 120 and 210 days were moderate with respect to carcass weight gain, obtaining the highest values for live weights at 210 days (0.68-0.73). The carcass classification and weaning traits were low correlated. Various prediction models for carcass weight gain and carcass classification were developed combining linear scores, live weight at 120 days and live weight at 210 days. The greatest individual predictor for the carcass weight gain was the live weight at 210 days. The best predictions were obtained using the live weight at 210 days and linear scores traits as predictors. The predictions for carcass classification were poorer than the carcass weight gain ones, probably because of a low variability of carcass classification scores. Best prediction were obtained when data from both breeds are combined in a single file, developing an unique prediction using the same traits as carcass weight gain predictors, and, another equation for carcass classification. In case of carcass weight gain, the prediction equation included live weight at 210 days and linear scores of width at withers, chest width, stature, body depth, and topline. The prediction equation for carcass

classification included width at withers, width behind withers, hindquarter width, trochanters width, pelvis length, stature, hindquarter development, cannon bone circumference and live weight at 210 days.

The fourth study designed two selection indexes, a replacement index and a terminal index, based on data obtained from CONABA. The profit function provided the economic weights for the traits included into the replacement and terminal indexes. The replacement index selects for cows intended for replacement and combines functional and production traits. The functional traits were maternal calving ease, age at first calving, calving interval, mature weight (feed intake), cull cow carcass weight and classification and maternal weaning weight. The production traits were carcass weight gain, carcass conformation scores, direct calving ease and direct weaning weight. The weights of functional and production traits were 48% and 52%, respectively. The expected response to selection for this index would imply an increase of mature weight, shortening of non-productive periods (age at first calving, and calving interval), slight improvement of calving ease and improvement of carcass traits. The expected response of profit would be 64.84€/slaughtered calf per year. An improvement of carcass weight gain and carcass classification was expected when selecting for terminal index with an expected profit response of 72.00€/slaughtered calf per year. Nevertheless, it was not suitable to select females intended for replacement only accounting for terminal index results since it might generate a detriment of functional traits in the females by increasing size and non-productive periods.

Methane (CH₄) emissions mitigation was included as a trait into the replacement index. An estimation of the CH₄ production for 4,573 cows and 7,498 calves from CONABA was performed for enteric fermentation and manure management. Two proposals were designed in order to include the mitigation of CH₄ emissions into the breeding goal, the imposition of tax per CH₄ kg emitted and the establishing of a limited quota per farm. Economic weights were calculated for the two scenarios using the profit function. The imposition of tax per CH₄ kg emitted and the quota includes CH₄ emissions in the index with of 4.6% and 1.8% economic importance, respectively. It was expected a control of CH₄ emission in the two scenarios from expected response in the replacement index, +2.30 CH₄ kg/slaughtered calf per year. The carbon tax scenario placed more emphasis on selecting for functional traits, obtaining a decrease of expected profit response of -4.06€/slaughtered calf per year and a shortening of emissions of 1.47 CH₄ kg/slaughtered calf per year. The quota scenario placed more emphasis on production traits, obtaining an increase of expected response of profit of +1.52 €/slaughtered calf per year and a slight decrease of 8.5% of emission from replacement index. However, quota scenario could imply a variation of number of animals per farm, conditioning the overall profitability per farm. According to these results, it was expected higher emissions when selecting for production traits, and a shortening of emissions when selecting for functional traits and

decrease of mature weight. In conclusion, both scenarios decrease the CH₄ kg emitted per unit of product at expenses of profitability.

3 INTRODUCCIÓN

3.1 Introducción general

El objetivo de la mejora genética es elegir a los reproductores de la siguiente generación, de tal forma que éstos sean más rentables que sus progenitores. La rentabilidad o eficiencia económica se obtiene mediante un aumento de los ingresos y una disminución de los costes generados por un animal desde su nacimiento hasta su sacrificio (Harris y Newman, 1994). Por tanto, es necesario conocer los costes e ingresos que genera un animal durante toda su vida productiva y que son inherentes a él mismo pudiendo ser modificados por estrategias de manejo, nutrición o selección.

El establecimiento de criterios económicos en la selección permitirá la detección de los animales más eficientes en su producción, ponderando los caracteres según su incidencia en los ingresos y en los costes. En vacuno de carne, un ternero destinado a sacrificio, o ternero comercializado, deberá optimizar su valor, maximizando los ingresos generados con unos costes moderados hasta su destete y en su posterior cebo. En el caso de una vaca, deberá obtener unos ingresos óptimos, consiguiendo producir terneros de un valor adecuado en el menor tiempo posible. Además, deberá moderar los costes incurridos en el proceso de producción, reduciendo los periodos improductivos y manteniendo un consumo moderado acorde al valor del ternero producido.

Los ingresos se obtienen de la venta de terneros y animales de desecho. Estos están determinados por el valor de la canal producida, el cual depende de su peso y conformación/clasificación (CEE, 1981 y 1991), que determina el precio percibido por cada kg de canal. Actualmente, la calidad de la carne no influye en el precio del kg de canal en matadero.

Los costes se dividen en costes de producción, relacionados con el rebaño de nodrizas (vacas desde el primer parto hasta la decisión de desecho) y recría, y costes incurridos durante el periodo de cebo del ternero. Los costes de producción están determinados por el coste incurrido por el rebaño de vacas, constituido por novillas, nodrizas y vacas de desecho. Los costes de producción dependen fundamentalmente de los periodos improductivos de las novillas y las nodrizas (edad al primer parto, intervalo entre partos y longevidad), el consumo del rebaño de novillas y nodrizas (crecimiento y tamaño/peso metabólico de la madre), las mortalidades en los diferentes estados del ternero o nodriza (al nacimiento, hasta el destete, en cebo y adulta), la docilidad y los problemas de parto. El coste de cebo está determinado por el peso alcanzado a la entrada del cebo, el crecimiento del ternero durante el cebo, su índice de conversión y la edad al sacrificio del ternero (López-Paredes *et al.*, 2015).

La mejora de la rentabilidad se ha de conseguir, por tanto, mejorando cada uno de los caracteres que influyen tanto en los ingresos como en los costes. Es necesario incidir en los caracteres de producción (relacionados con los ingresos), y en los caracteres funcionales (relacionados con los

costes). La selección basada en la mejora de los caracteres de producción (crecimiento y conformación) podría implicar un deterioro de los caracteres funcionales (fertilidad, precocidad, supervivencia, aptitud al parto y consumo de novillas y nodrizas). La selección por los caracteres relacionados con los ingresos es más fácil para el ganadero, ya que son caracteres que se expresan fenotípicamente, mientras que en los caracteres relacionados con los costes no resulta tan obvio. Por lo tanto, hay que hacer una selección conjunta.

La combinación de los caracteres funcionales y de producción en un índice económico es similar a los índices de selección desarrollados en vacuno de leche como el ICO (Pena *et al.*, 1992; Confederación de Asociaciones de Frisona Española, 2017). En las dos últimas décadas, en vacuno de carne se han desarrollado índices económicos que combinan caracteres de producción y funcionales de acuerdo a su importancia económica (Phocas *et al.*, 1998; Amer *et al.*, 2006; Berry *et al.*, 2007). Los caracteres funcionales tienen, al menos, la misma importancia económica en los índices que los caracteres de producción en el caso del índice económico ICO en vacuno de leche en España (Confederación de Asociaciones de Frisona Española, 2017 ; Charfeddine y Pérez-Cabal, 2014), esta importancia es incluso mayor en el índice de reposición en vacuno de carne en Irlanda (Irish Breeding Cattle Federation, 2017).

En vacuno de carne, se diferencian dos objetivos a producir, por un lado, nodrizas y por otro, terneros con destino a sacrificio (MacNeil *et al.*, 1994; Amer *et al.*, 2001; MacNeil y Matjuda, 2007). Es necesario, por tanto, desarrollar dos índices, un “índice de reposición” con el objetivo de producir nodrizas con buenos caracteres funcionales (relacionados con los costes de producción) y caracteres de producción (relacionados con los ingresos) y un “índice terminal” para obtener animales con buenos caracteres de producción.

Además, uno de los aspectos claves para la mejora de la rentabilidad es que ha de ser abordada desde todas las disciplinas de la producción animal. El animal ha de estar adaptado al sistema de producción (Dickerson, 1970; Tess y Davis, 2002), de tal forma que el tipo de animal sea acorde al manejo, nutrición o sanidad en el que ha de producir y a la demanda que debe satisfacer. Es imprescindible la inclusión de la demanda en el programa de mejora genética de una raza, detectando el tipo de animal que se ha de producir adecuado al consumidor final. La cooperación con la cadena de distribución permitiría incrementar la competitividad de la ganadería. Para ello se han de detectar las debilidades y las fortalezas, no solo de los animales individualmente, sino de cada ganadería y sistema de producción. La comparación entre animales y ganaderías, tanto fenotípica como genética, de los caracteres permite detectar estas debilidades y fortalezas. La comparación económica entre los distintos sistemas de producción y animales permitirá la mejora de la rentabilidad (López-Paredes *et*

al., 2016). La detección de diferentes sistemas de producción y tipo de producto producido permitirá seleccionar animales adaptados. Como ejemplo, en Irlanda la gran mayoría de las explotaciones ganaderas reciben información fenotípica y genética en la que son comparados con la media nacional, pudiendo detectar aquellos caracteres en los que han de hacer hincapié para su mejora. El reto del programa ha de ser integrar todos los animales y abordar todo el proceso de producción con un control de rendimientos amplio.

3.2 Problemática de un programa de mejora genética en vacuno de carne y situación en España

Según Berry *et al.* (2016) las debilidades en vacuno de carne son: deficiencia de fenotipos debido a un escaso control de rendimientos, existencia de múltiples razas y cruces, ausencia o bajo uso de la inseminación artificial, baja conexión entre rebaños y bajo beneficio por animal. Un programa de mejora genética tiene que atender o solventar dichas debilidades. Algunos programas de mejora genética actuales (Åby *et al.*, 2012; Amer *et al.*, 2001; Pravia *et al.*, 2014; Wolfová *et al.*, 2005a) describen la determinación de los objetivos de selección, abordando esta problemática con el objetivo de maximizar el beneficio obtenido por animal. Estos programas se basan en un control de rendimientos amplio y la utilización de un número elevado de animales en control, incluyendo en los esquemas de selección de animales de raza pura (inscritos o no inscritos en libros genealógicos) y cruzados.

El establecimiento de objetivos de selección económicos incrementaría la rentabilidad, siendo necesario el aumento de fenotipos (animales con información), sobre todo de caracteres de baja heredabilidad, siendo claves para el éxito del programa. Es necesario aumentar la recogida de información, siendo los caracteres funcionales, relacionados con la productividad y la reducción de los costes de producción el foco de recogida de la información, debido a su baja heredabilidad y a su importancia económica (Short *et al.*, 1994). El programa de mejora de la rentabilidad en vacuno de carne incluiría en un mismo control de rendimientos toda la información de estas fuentes, en pos de englobar a toda la población involucrada en la producción de carne. Este control de rendimientos permitiría un aumento considerable de los fenotipos, una mayor conexión entre rebaños, una mejora en la fiabilidad de las valoraciones genéticas y la valoración de los caracteres con repercusión económica. La mejora de la rentabilidad en la ganadería española se debería basar en un análisis genético-económico que reflejase la competitividad de cada animal, explotación, zona geográfica o sistema de producción. La implantación de este control de rendimientos permitirá un aumento de las fiabilidades de las valoraciones genéticas y en un medio plazo la posibilidad de introducir valoraciones genómicas fiables en los programas de mejora. El programa irlandés (Irish Breeding Cattle Federation,

2017 y 2018a) introduce animales cruzados o “comerciales” (explotaciones con animales puros o cruzados, cuyo objetivo es vender animales para sacrificio y no pertenecen a asociaciones de raza pura) tanto de carne como de leche en sus esquemas de selección en vacuno de carne, lo que permite aumentar la fiabilidad del análisis de caracteres de baja heredabilidad, como la facilidad de parto o la fertilidad. Los animales de raza pura se utilizan en gran parte en sistemas integrados comerciales como reproductores, siendo de gran importancia la utilización de los fenotipos procedentes de los rebaños comerciales para su valoración. Al estimar los pesos económicos, es importante considerar los resultados obtenidos en los rebaños comerciales en los que se utilizarán estos reproductores considerando su sistema de producción (Wolfová *et al.*, 2005^a y 2005^b). El programa irlandés está basado en su mayor parte en datos procedentes de ganaderías comerciales (puros o cruzados), tanto de vacuno de carne como de leche, que venden sus terneros al sacrificio y en un pequeño porcentaje de ganaderías que venden animales de raza pura como reproductores. La calidad de los datos es superior en las ganaderías comerciales debido a que gran parte de sus ingresos proviene de animales sacrificados (Cromie, 2017, comunicación personal).

En España, según el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPAMA) del total de nodrizas censadas en 2017 (2.001.212), el 53% del total de madres fueron cruzadas (MAPAMA, 2018). La raza Limusina es la madre predominante con un 11,5% del censo. El control de rendimientos de la raza se basa en 20.913 vacas mayores de 2 años registradas (FECL, 2018). En 2017, la fertilidad media en España, expresada como porcentaje de partos por vaca y año, fue del 70,5% y la media de edad al primer parto fue de 36 meses (MAPAMA, 2018). Por tanto, la problemática española es similar a la descrita por Berry *et al.* (2016), con un bajo porcentaje de animales en control de rendimientos, la existencia de cruces y de diferentes razas y la baja productividad, expresada como número de terneros producidos por nodriza y año. El incremento de los animales con fenotipos disponibles y su inclusión en los programas de mejora, es clave para detectar los animales más rentables y seleccionarlos de una forma más efectiva. El control de rendimientos debe abordar todo el proceso de producción desde el nacimiento hasta el sacrificio de todos los animales presentes en el rebaño.

Actualmente en España se dispone de un control oficial de las altas y las bajas de los animales (SITRAN: sistema de trazabilidad animal). En él se registra la identificación del animal y su madre, además de sus fechas de nacimiento y baja, ya sean animales de raza pura o cruzados. Los mataderos registran el peso canal del animal, la clasificación de la canal, el engrasamiento y la fecha de sacrificio. Por otro lado, algunas asociaciones de razas puras tienen un control de rendimientos más avanzado, disponiendo de registros de genealogías completas del animal, pesadas en vivo (nacimiento y destete), calificación morfológica del animal (valoraciones en escala de 1 a 10 en determinadas localizaciones

del animal), registros sobre otros caracteres de interés (docilidad y facilidad de parto, y control de los resultados en matadero (peso canal del animal, clasificación de la canal y engrasamiento).

En España, las distintas razas puras tienen un programa oficial coordinado por el MAPAMA (2018). En esta tesis se ha utilizado la información de dos razas puras en España, Limusina y Blonda de Aquitania, estableciendo una propuesta complementaria al programa actual. En la raza Limusina, la Federación Española de Criadores de Limusina (FECL) está constituida por 196 ganaderías inscritas en el programa de mejora, con un total de 940 ganaderías entre inscritas y colaboradoras y 20.913 vacas mayores de 2 años registradas (FECL, 2017). La FECL dispone de un control de rendimientos del animal que recoge los siguientes caracteres: peso al nacimiento y facilidad de parto, peso a los 120 días, peso a los 210 días y valoraciones lineales siguiendo el sistema IBOVAL (L' Institut de l' Elevage, 2017), que es el sistema oficial de evaluación desde 1991 en Francia. Este sistema incluye a 9 razas de vacuno de carne en Francia, Italia, Luxemburgo, España y Holanda. Además, se dispone de un control de genealogías. La FECL se marca como objetivos de selección, mantener la facilidad de parto, conservar la finura de hueso de la raza (asociado a la facilidad de parto y al rendimiento canal), aumentar el potencial de crecimiento, mejorar la conformación de la canal, seleccionar hembras con buenas aptitudes maternas, y por último detectar aquellos animales más dóciles. La detección de los animales que cumplan los objetivos de selección se realiza mediante evaluación genética mediante seis índices: facilidad de nacimiento (peso al nacimiento), potencial de crecimiento (peso a los 120 días y peso a los 210 días), desarrollo muscular, desarrollo esquelético, finura de hueso y producción lechera (efecto materno del peso a los 120 días).

En la raza Blonda de Aquitania, la Confederación Nacional de Blonda de Aquitania (CONABA), engloba a un total de 232 ganaderías, con un total de 7.322 hembras reproductoras (CONABA, 2015). La confederación dispone del mismo control de rendimientos que la FECL, incluyendo además, el control de los animales destinados a sacrificio, obteniendo en matadero, su peso canal, clasificación de la canal, engrasamiento y fecha de sacrificio (Altarriba *et al.*, 2009). En CONABA se establecen como objetivo general de la raza “conseguir vacas que, en las condiciones de medio ambiente en que se encuentren, produzcan regularmente un ternero al año; y que estos tras su cebo, lleguen a los 12-14 meses con altos crecimientos y con buenas características de la canal y de la carne” (CONABA, 2018). Para la consecución de este objetivo establecen dos índices de selección, el índice compuesto “vida” que combina facilidad de parto (peso al nacimiento), producción de leche (efecto materno del peso a los 120 días) y precocidad (peso a los 210 días), y el índice compuesto “cárnico” que combina la facilidad de parto directa, el peso canal y la conformación de la canal.

La propuesta de esta tesis complementaría los programas de mejora actuales de las dos razas y permitiría una colaboración entre ellas a partir de un control de rendimientos común. La propuesta permite, en primer lugar, establecer una ponderación económica de los caracteres a incluir en los índices de selección, considerando no solo su relación con los ingresos sino también con los costes de producción. La función de beneficio pondera económicamente cada carácter en función del precio percibido por kg de canal, determinante de los ingresos y del precio de la alimentación, determinante de los costes, adaptándose a los cambios que se puedan producir en estos dos términos. En segundo lugar, se introducen los caracteres funcionales en los índices de selección, actualmente no incluidos, como la edad al primer parto, el intervalo entre partos, el consumo o el valor de desecho, basándose en el control de rendimientos actual. Se establecería un índice total, “índice de reposición” que incluiría funcionalidad y producción de acuerdo a su importancia económica en pos de detectar los animales con mayor mérito de rentabilidad.

La media de fertilidad en las dos razas en los últimos tres años fue de 420 y 416 días de intervalo entre partos, para Blonda de Aquitania y Limusina, respectivamente. Este valor es similar al valor medio de las nodrizas clasificadas por índice de reposición con una estrella en Irlanda (0-20%, Irish Breeding Cattle Federation, 2018a). Una baja fertilidad es una indicación de la no adaptación de las nodrizas a los recursos disponibles. Los caracteres funcionales no son percibidos por el ganadero y la inclusión de genéticas favorables se debería realizar a través de inseminación artificial de sementales evaluados por su progenie. Además, se desarrolla otro índice “terminal” que tiene como objetivo seleccionar animales con alto valor al sacrificio sin perjudicar la aptitud al parto.

En las razas Limusina y Blonda de Aquitania se utilizan las valoraciones lineales y el peso al destete como un indicador de rentabilidad. Sin embargo, no hay una ponderación clara de cuáles son las más importantes según su incidencia en el valor del ternero al sacrificio. En esta tesis se propone estimar la relación de estos caracteres con los caracteres con repercusión económica, el crecimiento y la clasificación de la canal. Actualmente, en ambas razas la clasificación de la canal se realiza de manera subjetiva, siendo un carácter que determina el precio percibido por kg de canal y, por tanto, es básico para determinar el tipo de animal a producir. Se han desarrollado métodos objetivos de clasificación y para ello es necesario incorporar información procedente de otros mataderos, Comunidades Autónomas y otras razas, que aporten más variabilidad y permitan una mejor diferenciación entre las clasificaciones.

Los programas de mejora de ambas razas se basan en un control de los animales en pureza, con un control de rendimientos de pocos animales. La utilización de la información de ambas razas y de ganaderías “comerciales”, permitiría aumentar la fiabilidad de las evaluaciones genéticas,

especialmente de los caracteres funcionales de baja heredabilidad y alta importancia económica como la facilidad de parto, fertilidad y precocidad. Uno de los aspectos claves es la difusión al ganadero de los resultados fenotípicos y genéticos mediante la comparación entre ganaderías, nodrizas y terneros. Se han de realizar informes y valoraciones genéticas periódicas que permitan la utilización de las mismas para la toma de decisiones (Anexos 1 y 2). En esta tesis se desarrolla parte de la metodología necesaria para seleccionar animales adaptados a posibles cambios en el sistema de producción (cambios de precios de alimentación o precios de la carne). Algunos países europeos están seleccionando a favor de un tipo de animal menos contaminante (Quinton *et al.*, 2017). En esta tesis se presentan diferentes estrategias para afrontar esta reducción de las emisiones en el vacuno de carne, lo que en próximos años puede ser un requerimiento de la Unión Europea.

3.3 Modelos bioeconómicos

El establecimiento de los objetivos de selección es vital para la mejora efectiva de todas las especies de producción (Amer *et al.*, 2001). El objetivo es obtener animales con mayor mérito genético de rentabilidad, seleccionando por aquellos caracteres con interés económico. Hazel (1943) desarrolló la teoría de los índices de selección, de tal forma que la combinación ponderada del mérito genético de caracteres de interés permita estimar el mérito genético del objetivo de selección. Harris (1970) y Dickerson (1970) establecieron las bases para construir la ecuación matemática que permita derivar esas ponderaciones económicas de los caracteres. Moav (1973) describió el concepto de peso económico como la derivada parcial de la función de beneficio en función de cada carácter. Es decir, la importancia económica de una unidad de incremento de cada carácter bajo una situación media de producción considerada. Esa función de beneficio es el modelo bioeconómico que representaría el sistema productivo.

Ponzoni *et al.* (1989) establecieron los pasos para determinar la importancia de los caracteres a incluir en los objetivos de selección: 1) Descripción del sistema de producción; 2) Identificación de los ingresos y costes incurridos; 3) Determinación de los caracteres biológicos que inciden en los ingresos y costes; 4) Derivación del peso económico de cada carácter. Por tanto, el objetivo de selección debe estar adaptado al sistema de producción, ya que cambios en el sistema de producción pueden modificar los objetivos biológicos (Tess y Davis, 2002).

La modelización del carácter rentabilidad a partir de caracteres incluidos en el objetivo de selección, expresado de diferentes formas (beneficio, entendido como ingresos menos costes; coste por unidad de producto; coste por unidad de ingreso), ha sido abordada por diversos trabajos en

diferentes especies desde los años setenta (Andrus y McGilliard, 1975; Groen, 1988; Ponzoni *et al.*, 1989; De Vries, 1989; Chafferddine, 1998).

En vacuno de carne, Dickerson (1970) desarrolló el concepto de eficiencia relacionando el coste por unidad de ingreso obtenido por el producto. Definió tres objetivos biológicos en este sector con el fin de maximizar esa eficiencia en la producción animal: 1) Mejorar el valor del producto obtenido por la hembra relativo a su peso/tamaño; 2) Mejorar la fertilidad para reducir el coste de producción del rebaño por cada ternero comercializado; 3) Tener un crecimiento eficiente, para alcanzar un peso adecuado al mercado, y una temprana madurez sexual, manteniendo el peso adulto/tamaño de las hembras.

Los modelos bioeconómicos han sido utilizados para la determinación de las ponderaciones económicas de los caracteres a incluir de los programas de mejora genética en vacuno de carne en varios programas de mejora (Amer *et al.*, 2001; Berry *et al.*, 2007; Pravia *et al.*, 2014b; Roughsedge *et al.*, 2005; Wolfová *et al.*, 2005b). Además, los resultados proporcionados por la función de beneficio pueden ser utilizados como una herramienta de comparación entre diferentes elecciones de sistemas de producción (Wolfová *et al.*, 2005a; Wolfová *et al.*, 2005b).

La función de beneficio puede ser expresada dependiendo de la unidad productiva considerada. En las especies de producción de carne, el beneficio puede expresarse por vaca y año, por individuo o por unidad de producto comercializado. Brascamp *et al.* (1985) demostró que cualquiera que fuera la unidad considerada, el peso económico relativo de los caracteres era constante. Una de las problemáticas en vacuno de carne es la fragmentación en dos etapas o subsectores. Por un lado la vaca nodriza, donde el ternero permanece hasta el destete y, por otro, el cebo del ternero hasta su sacrificio. El objetivo de expresar el beneficio por ternero es optimizar todo el proceso de producción y conectar los dos subsectores, detectando aquellos animales que sean más rentables durante todo el proceso de producción. Esta expresión del beneficio permitiría incluir el tercer subsector, que es el consumidor o demanda.

Sin embargo, también hay detractores del uso de estos métodos. Nielsen *et al.* (2014) expusieron los posibles inconvenientes de la utilización de funciones de beneficio y modelos bioeconómicos para la cuantificación económica de los cambios genéticos. El primer inconveniente que expusieron fue la aceptación por parte de los ganaderos de los pesos económicos y su aplicación/implantación en los programas de mejora. Otra debilidad fue la influencia de cambios en el sistema de producción y el desarrollo de programas de mejora particulares frente a programas de mejora globales. Otro problema es el uso de información inadecuada y la imposibilidad de incluir términos no económicos en los objetivos de selección. Por último, expusieron como un problema el

horizonte temporal establecido y la expresión diferente de los caracteres. Esta problemática ha de ser tomada en cuenta a la hora de desarrollar un programa de mejora, proporcionando herramientas de selección que sean aceptadas por los ganaderos, considerando diferentes objetivos de selección que se adecuen al sistema de producción y los cambios en el tiempo de los precios y condicionantes de la producción.

3.4 Importancia de los caracteres relacionados con los costes de producción

De acuerdo a la problemática expuesta en el Apartado 3.2., uno de los factores limitantes en vacuno de carne es la escasa productividad de las nodrizas, lo que incide directamente en la rentabilidad de las explotaciones. Es fundamental un manejo reproductivo óptimo, tanto en machos como en hembras, para la rentabilidad del sistema de producción (Berry y Cromie, 2009; Berry *et al.*, 2014). Una consecuencia de la mejora del manejo reproductivo es la disminución de los periodos improductivos de las nodrizas, desde su nacimiento hasta el fin de su vida productiva. Una mayor precocidad producirá un adelanto en el comienzo de la vida productiva y, por tanto, una disminución de los costes generados hasta su primer parto. Una edad temprana al primer parto y la optimización de otros caracteres reproductivos (fertilidad, longevidad) incrementa la rentabilidad y sostenibilidad de la producción de vacuno de carne debido a su relación con los ingresos anuales y los costes de reposición y producción (Berry y Evans, 2014). El beneficio obtenido en vacuno de carne cuando el primer parto ocurre entre los 22 y 24 meses de edad se ha demostrado en diferentes estudios (Chapman *et al.*, 1978; Day *et al.*, 2013 y 2015). Una reducción en el tiempo en que la nodriza empieza a producir disminuye el tiempo de retorno de la inversión e incrementa el número de terneros producidos por la nodriza en toda su vida productiva, y, por consiguiente, se obtiene un aumento de los kg de carne producidos (Berry y Evans, 2014).

Uno de los principales objetivos en vacuno de carne es la adaptación de la nodriza a los recursos naturales. Una concentración de partos, en la que tuvieran lugar entre dos y cuatro meses optimizaría esta adaptación, adecuando la época de máximas necesidades a la mayor producción de pasto. El objetivo sería alcanzar la edad al primer parto a los dos años con una paridera concentrada para optimizar la utilización de los recursos. Una sola paridera es recomendable en regiones templadas (Berry y Evans, 2014), mientras que en regiones en las que se producen razas de crecimiento más lento, se recomienda un manejo menos intensivo. Una producción limitada de forraje requiere una edad al primer parto más elevada, en torno a los tres años, debido a un menor peso de los terneros de hembras demasiado jóvenes y a un detrimento del peso adulto de las nodrizas (Short *et al.*, 1994).

Desde el punto de vista genético, con el fin de considerar estos caracteres en los programas de mejora, hay varios estudios sobre parámetros genéticos de caracteres reproductivos. Según Koots *et al.* (1994), Gutiérrez *et al.* (2002), Phocas y Sapa, (2004), Boligon *et al.* (2010), la heredabilidad de la edad al primer parto es moderada. Sin embargo, Berry y Evans (2014) estimaron una mayor heredabilidad (0,31). En cuanto a su relación con otros caracteres, Morris *et al.* (2000) estimaron una alta correlación genética con la tasa de fertilidad anual y la tasa de fertilidad total de la nodriza. Se han encontrado correlaciones negativas con el intervalo entre partos (Roughsedge *et al.*, 2005; Berry y Evans, 2014), con caracteres de producción (Roughsedge *et al.*, 2005; Gutiérrez *et al.*, 2007; Crowley *et al.*, 2011), con el peso adulto (Roughsedge *et al.*, 2005) y con el tamaño corporal (Gutiérrez *et al.*, 2002). Por lo tanto, es necesario considerar la repercusión que tendría la reducción de la edad al primer parto y la selección en base a este objetivo.

3.5 Importancia de los caracteres relacionados con el valor de la canal

El valor intrínseco de un animal es una función de su potencial genético para crecer y desarrollarse rápidamente y producir una canal con una proporción óptima de musculo, hueso y grasa adecuada al mercado (Tatum *et al.*, 1986). Para mejorar la rentabilidad de los animales es fundamental una selección temprana de los animales con mayor mérito de caracteres de la canal, produciendo animales adecuados a la demanda del mercado. La información pre-sacrificio, como las pesadas y las valoraciones lineales morfológicas en vivo, pueden utilizarse para ayudar a la selección de reproductores o producción de animales que se ajusten a los requerimientos del mercado. La calificación morfológica a través de una clasificación visual o mecánica, permitiría la detección de animales con mayor valor de la canal de forma temprana, dado que existe una alta relación entre esta valoración en vivo y las características de interés de la canal al sacrificio (Drennan *et al.*, 2008 y 2009 y Cancian *et al.*, 2014).

Actualmente, el precio pagado por la canal en la UE está basado en la puntuación de conformación y engrasamiento de la canal (Conroy *et al.*, 2010a). Estos dos caracteres, combinados con el peso canal obtenido, determinan el valor de la canal en matadero y, por tanto, la principal fuente de ingresos en vacuno de carne. Estos tres caracteres son registrados y están disponibles en los mataderos. La clasificación de la conformación de la canal está basada en una puntuación visual realizada por un especialista, o mediante escáner o instrumentos específicos de clasificación, según una escala categórica de acuerdo a los estándares definidos por las regulaciones 1208/81 (CEE, 1981) y 1026/91 (CEE, 1991).

Clasificación, engrasamiento y peso canal son, por tanto, los caracteres más importantes para determinar los ingresos percibidos por los ganaderos por la venta de animales (Kahi *et al.*, 2007) y son incluidos habitualmente en los objetivos de selección en vacuno de carne (Phocas *et al.*, 1998; Amer *et al.*, 2001). De hecho, la clasificación de la canal está relacionada con la cantidad de carne comercializable (Craigie *et al.*, 2012 y 2013), con el rendimiento canal, la cantidad de carne de la canal, la cantidad de grasa, la proporción de hueso y la cantidad de piezas nobles de la canal (Drennan *et al.*, 2009; Conroy *et al.*, 2010a y 2010b). Afolayan *et al.* (2007) estimaron que más del 20% de la variación del precio percibido por la canal está determinado por la clasificación (conformación). En España, Altarriba *et al.* (2009), incluyeron en su programa de mejora los caracteres peso canal y conformación en la raza Pirenaica.

La predicción de los caracteres de la canal utilizando la información pre-sacrificio ha sido desarrollada en estudios recientes (Drennan *et al.*, 2008; Drennan *et al.*, 2009; Conroy *et al.*, 2010; Kilpatrick y Steen, 2014). Esta predicción es especialmente relevante en animales destinados a reposición (machos y hembras), de los cuales solo se dispondrá de información de su progenie y gran proporción de ésta se destinará también a reposición. Sin esta predicción, habría que esperar a la información aportada por su descendencia. Una predicción fiable del valor de la canal basada en la composición corporal haría posible una selección temprana eficiente para los reproductores (Afolayan *et al.*, 2007). En Limusina y Blonda de Aquitania, la relación entre los caracteres de crecimiento y valoraciones lineales y los caracteres de la canal fue abordada por Bouquet *et al.* (2010) y Bouquet, (2010), estimando correlaciones positivas tanto fenotípicas como genéticas entre el peso a los 210 días, la calificación muscular al destete y el peso canal y la clasificación de la canal. Para las explotaciones comerciales que no dispongan de calificación morfológica, el ganadero podría realizar una calificación basada en los caracteres de mayor importancia que prediga el valor de los terneros al sacrificio.

3.6 Importancia de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en vacuno de carne y su inclusión en los objetivos de selección en vacuno de carne

Desde el desarrollo de la teoría de los índices de selección (Hazel, 1943) y el desarrollo del modelo animal y la valoración BLUP (Goldberger, 1962 y Henderson, 1963) es posible detectar aquellos animales con mayor mérito de rentabilidad. Esta selección por rentabilidad implica un cambio en el tipo de animal de las futuras generaciones. El incremento de la rentabilidad llevará consigo, según los índices aplicados, una presión de selección sobre caracteres relacionados, tanto con el valor de animal como de la productividad de las nodrizas, por lo que se ha de considerar el posible impacto que tendría esa selección tanto en la economía de la explotación como en el medio en que se desarrolla.

El vacuno de carne tiene un impacto importante en la economía, la disponibilidad de alimento y el cambio climático. Aproximadamente el 17% de la producción de carne en la UE-28 proviene de 15 millones de bovinos. Actualmente hay 7,5 billones de personas en el mundo y en 2050 la población de la tierra alcanzará los 10 billones de personas (Naciones Unidas, 2010). Esto significa que la industria cárnica deberá afrontar el reto de proveer proteína de calidad a los mercados compitiendo con la producción de cereal y otros recursos, que también se deben destinar a la producción de biocombustible.

Los gases de efecto invernadero de la agricultura alcanzaron en 2014 un máximo de 5,25 billones de toneladas equivalentes de CO₂ (FAO, 2016). El sector de producción animal es un importante factor de contribución con un 18% del total de las emisiones (13% en la UE). Los grandes rumiantes producen entre 150 y 500 litros de metano (CH₄) por día debido a la fermentación, y es excretado por la boca (Johnson y Johnson, 1995). El CH₄ es un gas de efecto invernadero con un poder calorífico de 21 a 28 veces superior al CO₂. Por tanto, los gases de efecto invernadero producidos por los rumiantes se incrementarán en las próximas décadas. Este incremento continuará afectando al cambio climático y la futura aplicación de tasas en agricultura podría afectar a la rentabilidad de la producción animal. Alrededor de 100 países pretenden reducir las emisiones conforme al Acuerdo de París en la Convención del Cambio Climático (FAO, 2016). La Unión Europea ha planteado una reducción del 20% para 2020 respecto a los niveles de 1990. Sin embargo, las políticas de reducción del total de emisiones o de emisiones por unidad de producto son todavía inciertas. La selección ha probado ser una herramienta eficiente y de bajo coste para hacer frente a los objetivos de selección establecidos.

El CH₄ está relacionado con la eficiencia alimentaria y tiene un impacto considerable en la rentabilidad en vacuno de leche (Ho, 2005; Pryce *et al.*, 2014; Hayes *et al.*, 2016). La reducción de CH₄ puede ser incluida en los objetivos de selección, tanto como la reducción de emisiones totales o como la de emisiones por unidad de producto (Amer *et al.*, 2017). En vacuno de leche, por ejemplo, ya se ha incluido (Bell *et al.*, 2016). En vacuno de carne, Quinton *et al.* (2017) estimaron el impacto de los índices de selección maternal y terminal utilizados en Irlanda en los gases de efecto invernadero.

En esta Tesis se describe parte de la metodología necesaria para establecer un programa de mejora de la rentabilidad de vacuno de carne, dividido en cuatro trabajos. En el primer trabajo se desarrolla una función de beneficio que permite la estimación de las ponderaciones económicas de los caracteres relacionados con la rentabilidad. Las ponderaciones económicas permiten devolver a cualquier tipo de ganadería información y recomendaciones económicas, estableciendo comparativas con ganaderías afines y globales. En el segundo trabajo, se aborda la problemática de un carácter

relacionado con los costes de producción (la edad al primer parto) y las consecuencias de su mejora. En el tercer trabajo se optimiza el uso de la información disponible determinando predictores de dos caracteres determinantes de los ingresos, crecimiento canal (como indicador del crecimiento desde el nacimiento hasta el sacrificio, calculado como peso canal (kg)/edad al sacrificio (d)) y clasificación. De esta forma, de los animales de los que no se tenga información del valor de la canal, se tendrá su predicción de crecimiento y clasificación de la canal. El cuarto trabajo de esta tesis establece dos índices económicos, expresados en euros que permiten la selección por rentabilidad. Además, se estimará el impacto en las emisiones de CH₄, estableciendo posibles estrategias para mitigar el impacto ambiental de la selección por rentabilidad.

4 OBJETIVOS DE LA TESIS

OBJETIVOS DE LA TESIS

El objetivo general de esta tesis es desarrollar parte de la metodología necesaria para el establecimiento de un programa de mejora de la rentabilidad en vacuno de carne. Para lo que se determinan los siguientes cinco objetivos específicos relacionados con diversos componentes del programa de mejora:

1. Desarrollar un modelo bioeconómico que describa el proceso de producción en vacuno de carne, desde el nacimiento de un animal hasta su sacrificio, incluyendo todos los ingresos y costes determinados por caracteres modificables por selección o por manejo, nutrición, o sanidad, que permita estimar los pesos económicos de los caracteres con incidencia en la rentabilidad económica, así como proporcionar parámetros económicos de comparación entre los animales, ganaderías, razas y sistemas de producción.

2. Cuantificar la importancia económica de la edad al primer parto, al ser un carácter relacionado con los costes de producción en vacuno de carne y su relación con otros caracteres vinculados con la rentabilidad.

3. Obtener predictores de los caracteres que determinan el valor de la canal (crecimiento conformación de la canal), determinantes de los ingresos, utilizando la información pre-destete de pesadas y calificaciones morfológicas.

4. Desarrollar dos índices de selección para vacuno de carne, un índice de reposición para obtener nodrizas y un índice terminal para obtener animales con alto valor al sacrificio.

5. Incluir la reducción de las emisiones de CH₄ en los objetivos de selección en vacuno de carne incluyendo el carácter emisiones de metano en el índice de reposición y establecer estrategias para la reducción de las emisiones.

5 MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL Y MÉTODOS

El capítulo ha sido dividido en cuatro apartados para abordar cada uno de los trabajos planteados.

- En la primera parte se desarrolla el modelo bioeconómico o función de beneficio, utilizando dos explotaciones como casos de estudio, Explotación A y Explotación B. Además, se estima la repercusión económica que supondría una disminución del intervalo entre partos a 365 días y de la edad al primer parto a dos años, para cada explotación, denominando a las explotaciones en la situación óptima Explotación A+ y Explotación B+.
- En la segunda parte se estudia el carácter edad al primer parto, determinando la situación actual en la raza Blonda de Aquitania, su relación con otros caracteres funcionales, de producción y morfológicos, tanto fenotípica como genética, y se cuantifica económicamente el impacto de su reducción.
- En el tercer apartado se desarrollan varios modelos de predicción del crecimiento canal diario y la clasificación de la canal utilizando la información tomada en torno al destete el peso y de la calificación morfológica. Se analiza la información tomada al destete, su relación con los caracteres de canal y la fiabilidad de los modelos de predicción desarrollados utilizando la información de Blonda de Aquitania y Limusina. Se comparan los diferentes modelos de predicción para cada una de las razas por separado o la utilización conjunta de la información de ambas razas, como ejemplo de análisis multirracial.
- En el cuarto apartado se desarrollan dos índices denominados, un índice de reposición destinado a obtener hembras de reposición, futuras reproductoras y un índice terminal destinado a obtener animales con alto valor al sacrificio. Se utilizó la información de la raza Blonda de Aquitania como caso de estudio. Por último, se estiman las consecuencias de la inclusión de la reducción de emisiones en los objetivos de selección. Se incluye el carácter emisiones de CH₄ en el índice de reposición estableciendo dos estrategias para su mitigación, la imposición de una tasa de Carbono y el establecimiento de una cuota de emisiones por explotación.

5.1 Desarrollo de la función de beneficio y estimación de los pesos económicos

5.1.1 Descripción del sistema de producción

De acuerdo con Ponzoni *et al.* (1989), el primer paso para la estimación de los pesos económicos es describir el proceso de producción desde el nacimiento hasta el sacrificio. El proceso de producción en vacuno de carne se ha dividido en tres fases: producción, cebo y sacrificio. La Figura 5.1.1 muestra este proceso, describiendo los ingresos y costes generados en cada uno de ellas, basada en la propuesta de Charfeddine (1998) para el vacuno de leche en España.

Figura 5.1.1. Descripción de las fases y los ingresos y costes generados en el proceso de producción en vacuno de carne.

5.1.1.1 Fase de producción

La fase de producción incluye los costes e ingresos generados por la nodriza, la novilla de reposición y las vacas de desecho para producir un ternero al destete. La actividad de la novilla comienza desde su destete hasta su primer parto, incurriendo en un coste de suplementación para satisfacer sus necesidades energéticas de mantenimiento, crecimiento y gestación. El coste de la novilla está determinado por el peso metabólico y la duración del período entre su destete y su edad al primer parto. Una vez alcanzado éste, la novilla pasa a denominarse nodriza, debiendo satisfacer sus necesidades energéticas de mantenimiento, lactación y gestación. El coste de alimentación de la nodriza depende de su peso adulto (que determina el peso metabólico y, por tanto, el consumo), su

intervalo entre partos, su producción de leche, la duración de la lactación (edad al destete) y el número de partos obtenidos por la vaca durante su vida productiva. Después de su último parto, la nodriza se convierte en vaca de desecho, que se ceba y comercializa, incurriendo en un coste de cebo y generando los ingresos de desecho. La suma de los costes de la novilla, la nodriza y la vaca de desecho, menos los ingresos generados por la venta del desecho constituyen el coste de producción.

5.1.1.2 Fase de cebo

La fase de cebo es el proceso de engorde del ternero (machos y hembras) desde su destete hasta su sacrificio. Después del destete un porcentaje de hembras son destinadas a reposición, el resto de las hembras y la totalidad de los machos destetados se ceban hasta su sacrificio. Se denominó ternero comercializado a la media ponderada de machos y hembras teniendo en cuenta el porcentaje de reposición del rebaño. Los costes inherentes al proceso de cebo (costes de cebo) incluyen los costes de alimentación necesarios para satisfacer sus necesidades energéticas de mantenimiento y crecimiento, los cuales dependen de su crecimiento diario, su peso metabólico y la duración del cebo.

5.1.1.3 Fase de sacrificio

La fase de sacrificio describe el comportamiento del ternero comercializado en el sacrificio (machos y hembras). Después del cebo, los machos y las hembras engordados se sacrifican generando los ingresos por la venta del ternero comercializado, que dependen fundamentalmente de la clasificación de la canal, el peso al sacrificio, la edad al sacrificio y el sexo.

5.1.2 Modelo bioeconómico

Se diseñó un modelo bioeconómico que describe el proceso de producción en vacuno de carne siguiendo las recomendaciones de Harris (1970) y Harris y Newman (1994), y de acuerdo a los pasos determinados por Ponzoni *et al.* (1989). La propuesta expuesta en la Figura 5.1.1 muestra el margen obtenido por ternero comercializado y año e incluye los ingresos y costes de todos los animales del rebaño (terneros, novillas, nodrizas y vacas de desecho) desde su nacimiento hasta su sacrificio. El desarrollo pormenorizado de la función de beneficio se detalla en el Apéndice 1.

Se consideraron únicamente aquellos costes e ingresos que pueden ser mejorados mediante disciplinas de la producción animal de acuerdo a la propuesta de Dickerson (1970). Por lo tanto, en esta tesis solo se incluyeron los costes de alimentación necesarios para satisfacer las necesidades energéticas y los ingresos obtenidos por la venta de terneros y vacas de desecho. Otros costes, como la mano de obra, se consideraron fijos por año y no directamente determinados por los animales ni modificables mediante decisiones relativas a la producción animal.

El margen por ternero comercializado (*Margen*) se calculó según la siguiente ecuación considerando los citados ingresos y costes:

$$Margen = (I_T - C_{CEBO} - C_{PROD}) \quad \text{Ecuación 5.1.1}$$

Donde I_T son los ingresos por ternero comercializado a una edad de sacrificio fija; C_{CEBO} es el coste de cebo de los terneros. C_{PROD} es el coste de producción por ternero comercializado.

5.1.3 Pesos económicos

El peso económico de un carácter se define como la derivada parcial de la función de beneficio (*Margen*) respecto al carácter considerado (Moav, 1973). En este trabajo, los pesos económicos se expresaron en €/ternero comercializado/año por una unidad de variación de cada carácter. El peso económico e_{xi} del carácter x_i se calculó como:

$$e_{xi} = \frac{\partial(Margen)}{\partial x_i} \quad \text{Ecuación 5.1.2}$$

Se estimaron los pesos económicos para el intervalo entre partos, la edad al primer parto, la edad al último parto, la mortalidad entre 0 y 48h, la mortalidad hasta el destete, la mortalidad en cebo, la mortalidad adulta, el peso adulto, la ganancia media diaria hasta el destete, la ganancia media diaria en cebo, el rendimiento canal del ternero, el rendimiento canal de la vaca de desecho, la conformación de la canal del ternero, el precio de kg de vaca de desecho, la ganancia media diaria de la vaca de desecho en cebo, el peso canal de desecho, el crecimiento canal diario y la edad al sacrificio del ternero.

5.1.4 Casos de estudio

La función de beneficio se aplicó en dos explotaciones como casos de estudio (Explotación A y Explotación B). Además de los pesos económicos se estimaron los ingresos, los costes de producción, los costes de cebo y el margen a partir de la función de beneficio, analizando la adaptación/eficiencia del animal medio para cada una de las explotaciones en cada una de las fases del sistema de producción.

Los caracteres incluidos en el modelo se dividieron en tres grupos: caracteres funcionales, caracteres de producción y condicionantes de manejo. Los caracteres y condicionantes de la Explotación A y la Explotación B se exponen en la Tabla 5.1.1.

- Los caracteres funcionales fueron el peso adulto, mortalidad entre 0 y 48 h, mortalidad hasta el destete, mortalidad en cebo, mortalidad adulta, intervalo entre partos, edad al primer parto, edad al último parto y producción de leche, se considerarán también como caracteres funcionales precio de kg de vaca de desecho (determinado por la clasificación canal de la vaca de desecho), ganancia media diaria de la vaca de desecho en cebo, peso de desecho y rendimiento canal de la vaca de desecho.
- Los caracteres de producción fueron el peso al nacimiento, ganancia media diaria hasta el destete, ganancia media diaria en cebo, rendimiento canal del ternero, conformación de la canal del ternero y crecimiento canal diario del ternero (peso canal/edad al sacrificio), este último como indicador del crecimiento del animal desde el nacimiento hasta el sacrificio. Se asumió que el peso al nacimiento fue 2 kg mayor en machos que en hembras y que la ganancia media diaria fue un 10% mayor en machos que en hembras hasta el destete y un 20% mayor en el cebo.
- Los condicionantes de manejo fueron la edad al destete, edad al sacrificio, duración de cebo de terneros y de vacas de desecho, y el precio por unidad de suplementación expresada en UFL y UFC. Éstas son las unidades de expresión de las necesidades energéticas, de tal forma que 1UFC equivale a 1.820 kcal y 1UFL equivale a 1.700 kcal de energía neta, energía neta de 1 kg de cebada (Vermorel, 1978).

Se estimó la repercusión que tendría que alcanzar una situación reproductiva óptima reduciendo los periodos improductivos, con un intervalo entre partos de 365 días, alcanzando un parto por vaca y año y la reduciendo la edad al primer parto a 730 días. Estos dos escenarios se denominaron Explotación A+ y Explotación B+.

• Descripción del manejo de las dos explotaciones

La Explotación A se encuentra en la Dehesa cálida de Extremadura cuyas vacas nodrizas son cruce de Retinta con Limusina y los terneros de padre Charolés. La Explotación B se encuentra en el Sur de los Pirineos y está basada en las razas Pardo Alpina y Pirenaica. En ambas los terneros son destetados a los 6 meses. En la Explotación A hay paridera continua, evitando los partos de verano. En la Explotación B hay dos parideras, una en primavera y otra en otoño. Las novillas no destinadas a reposición y los machos son alimentados en un sistema intensivo a base de paja y concentrado hasta el año de edad, cuando son sacrificados. Las vacas de desecho son cebadas durante 4 meses en la Explotación A y durante 3 en la Explotación B. Una información más detallada de la explotación B está descrita en Sanz *et al.* (2004).

Tabla 5.1.1. Caracteres y condicionantes, funcionales, de producción y de manejo utilizados en el desarrollo de la función de beneficio.

Caracteres y condicionantes	Explotación	
	A	B
Caracteres funcionales		
Peso adulto (kg)	600	585
Mortalidad 0-48 h (%)	2	3
Mortalidad hasta el destete (%)	2	2
Mortalidad en cebo (%)	1	1
Mortalidad adulta (%)	1	2
Intervalo entre partos (d)	514	458
Edad al primer parto (d)	1080	997
Edad al último parto (años)	10	10
Producción de leche (l/d)	5	6
Caracteres de producción		
Peso al nacimiento (kg)	39	38
Ganancia media diaria hasta el destete (kg/d)	0,90	0,75
Ganancia media diaria en cebo (kg/d)	1,25	1,40
Clasificación de la canal (SEUROP)	U	U
Rendimiento de la canal (%)	58	56,5
Crecimiento canal diario (kg/d)	0,68	0,67
Precio del kilogramo canal (€/kg)	4,06	4,00
Clasificación canal vaca de desecho (SEUROP) ¹	U	U
Precio vaca de desecho (€/kg)	2,10	2,10
Ganancia media diaria de vaca de desecho en cebo (kg/d)	1,50	1,20
Rendimiento canal vaca de desecho (%)	52	52
Condiciones de manejo		
Edad al destete (d)	180	180
Edad al sacrificio (d)	365	365
Duración cebo de terneros (d)	180	180
Duración cebo de desecho (d)	120	90
Precio unidad forrajera leche UFL ² (€/UFL)	0,12	0,12
Precio unidad forrajera carne UFC ³ (€/UFC)	0,21	0,20

¹SEUROP: clasificación de la canal de acuerdo a CEE (1981 y 1991).²UFL: unidad energética para animales en mantenimiento, lactación y crecimiento moderado (1.700 Kcal).³UFC: unidad energética para animales en crecimiento (1.820 Kcal).

- **Descripción de las necesidades energéticas de las dos explotaciones**

Para la estimación de las necesidades energéticas, los animales fueron divididos en 4 grupos según su edad y sexo: terneros en cebo, novillas, nodrizas y vacas de desecho. Los toros y su reposición no fueron considerados en este trabajo debido a las posibles estrategias de manejo de los sementales. En la Tabla 5.1.2 se muestran las medias de las necesidades energéticas para cada uno de los grupos considerados y su estado fisiológico que fueron estimadas a partir de la información de la Tabla 5.1.1. Los cuatro grupos de animales son descritos a continuación:

- **Terneros en cebo:** machos y hembras desde los 6 meses (edad al destete) hasta los 12 meses (edad al sacrificio). Hasta el destete los terneros consumieron el equivalente a 136 UFL (Daza-Andrada, 2014). Como se mencionó en el apartado 5.1.1.2., las necesidades energéticas dependen del peso metabólico y de la ganancia media diaria (1,25 y 1,40 kg/d para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente).

- **Novillas:** hembras desde los 6 meses (edad al destete) hasta su primer parto a los 41 meses (Explotación A) y a los 33 meses (Explotación B). Se consideró el crecimiento diario necesario para alcanzar el 65% del peso adulto al primer servicio (390 kg y 380 kg para la Explotación A y la Explotación B).

- **Nodrizas:** hembras desde su primer parto hasta la decisión de desecho (12 y 11 años en la Explotación A y la Explotación B, respectivamente).

- **Vacas de desecho:** son vacas cebadas durante 3 y 4 meses después de la decisión de desecho en la Explotación A y la Explotación B.

Tabla 5.1.2. Necesidades energéticas individuales para terneros en cebo, novillas, nodrizas en lactación, mantenimiento y último tercio de gestación y vacas de desecho en cebo, para la Explotación A y la Explotación B.

	Explotación	
	A	B
Ternero en cebo (UFC ¹ /día)	12,8	12,1
Novilla (UFL ² /día)	3,8	3,9
Nodriz en lactación (UFL/día)	8,6	9,8
Nodriz en período de mantenimiento (UFL/día)	5,8	5,7
Nodriz en el último tercio de gestación (UFL/día)	7,1	6,7
Vaca de desecho en cebo (UFC/día)	11,6	11,5

¹UFC: unidad energética para animales en crecimiento (1.820 Kcal).

²UFL: unidad energética para animales en mantenimiento, lactación y crecimiento moderado (1.700 Kcal).

5.2 Estimación de la importancia económica de la edad al primer parto y su relación con otros caracteres productivos y funcionales.

Es este apartado se abordó el carácter edad al primer parto, estimando la repercusión económica de su reducción y su relación con otros caracteres.

5.2.1 Información utilizada

Para el estudio se utilizó la información desde 1983 hasta 2015 procedente de 7.655 nodrizas que tuvieron su primer parto entre 20 y 48 meses, con 27.118 partos procedentes de 301 explotaciones. En el análisis se incluyeron parámetros reproductivos, pesos vivos, valoraciones lineales morfológicas y caracteres relacionados con la canal de su descendencia que son definidos a continuación.

- Caracteres reproductivos/funcionales: además de la edad al primer parto se consideraron como caracteres funcionales la facilidad de parto, el intervalo entre partos y el número de partos como medida de longevidad. La edad al primer parto se definió como la edad en meses del primer parto entre 20 y 48 meses. La facilidad de parto fue calificada en el momento del parto por el ganadero en una escala de 1 a 5, donde 1 es sin asistencia, 2 es ligera ayuda, 3 es ayuda, 4 es cesárea y 5 es mala presentación del ternero (el 5 fue considerado accidental y se excluyeron los partos con nota 5 en los cálculos). El intervalo entre partos fue definido como el número de días entre dos partos consecutivos entre 300 y 730 días. El primer intervalo entre partos fue definido como el número de días entre el primer y el segundo parto (entre 300 y 730 días). La longevidad fue medida como el número de partos solo considerando aquellas nodrizas con al menos 6 años desde su primer parto, como indicador del número de terneros producidos a una edad adulta. Se ha de tener en cuenta que el número de partos puede no corresponder con la longevidad real de la raza debido a la comercialización de animales adultos como animales vivos o para sacrificio.

- Valoraciones lineales morfológicas: las valoraciones lineales son una calificación subjetiva del desarrollo muscular, esquelético y las aptitudes funcionales del animal. En la raza Blonda de Aquitania se realiza entre los 90 y 365 días de edad por un único calificador teniendo en cuenta la situación de animal en el momento de la clasificación (0: antes del destete; 1: en el destete; 2: después del destete). La base de datos utilizada incluyó 2.469 terneros clasificados (1.290 machos y 1.358 hembras), desde 2002 hasta 2015 de 27 rebaños de los 301 iniciales que tuvieron disponible esta información. Los terneros fueron clasificados en 19 caracteres (L'Institut de l'Élevage, 2017), agrupados en desarrollo muscular, desarrollo esquelético y aptitudes funcionales. En este estudio estos tres grupos caracteres se denominaron caracteres morfológicos. El desarrollo esquelético fue calculado como la media

multiplicada por 10 de las calificaciones de longitud de dorso, longitud de pelvis, la anchura de ancas y el doble del desarrollo. El desarrollo muscular fue calculado como la media multiplicada por 10 de las calificaciones de anchura de la cruz, la anchura del dorso, la anchura de nalgas, redondez de nalgas y el doble del espesor el lomo. Las aptitudes funcionales fueron calculadas como la media multiplicada por 10 de aplomos traseros, aplomos delanteros, rectitud de dorso y anchura del morro.

- **Pesos vivos:** los pesos vivos se obtuvieron de la base de datos desde 1995 a 2015 de peso al destete y peso al nacimiento. El peso al destete fue ajustado a 210 días de los pesos vivos de entre 160 y 240 días de edad. Para este estudio se incluyeron 20.435 terneros (9.922 machos y 10.513 hembras) de 244 explotaciones. Para el peso al nacimiento se incluyeron 7.045 terneros (3.494 machos y 3.551 hembras) de 143 explotaciones.

- **Caracteres de la canal:** se incluyeron el peso canal y la clasificación de la canal. Se analizaron 4.500 terneros (2.480 machos y 2.020 hembras) con una edad al sacrificio de entre 10 y 17 meses procedentes de 15 mataderos y 108 rebaños desde 2004 a 2015. La clasificación de la canal está basada en una clasificación visual de la conformación y la grasa de la canal. Se determina una nota de forma categórica (SEUROP), de acuerdo a la normativa 1208/81 y 1026/91 de la Comisión Europea (CEE, 1981; CEE, 1991). La clasificación de la canal fue convertida en una nota numérica del 1 al 15. El crecimiento canal de los terneros de entre 10 y 17 meses se calculó como el ratio entre el peso canal en kg y la edad al sacrificio en días.

Se establecieron 5 grupos de novillas de acuerdo a su edad al primer parto (20-27, 28-31, 32-35, 36-39 y 40-48 meses). El número de datos de edad al primer parto, intervalo entre partos y número de partos de las nodrizas que tuvieron su primer parto entre 20-48 meses y el número de terneros hijos de estas nodrizas de facilidad de parto, peso al nacimiento, peso al destete, desarrollo muscular, desarrollo esquelético, aptitudes funcionales, crecimiento canal y clasificación de la canal se exponen en la Tabla 5.2.1.

Se analizaron, por un lado, los resultados de las nodrizas en su primer parto o de los hijos de ese primer parto (**primíparas**), y en segundo lugar los resultados de las nodrizas o hijos de las nodrizas a partir del segundo parto (**vacas adultas**). Las Tablas 5.2.2 y 5.2.3 muestran las medias fenotípicas para cada carácter de cada grupo.

Tabla 5.2.1. Número de nodrizas con edad al primer parto entre 20 y 48 meses, partos totales, datos de facilidad de parto, peso al nacimiento, peso al destete y número de datos de canales de la progenie de las nodrizas de cada grupo para primíparas y para vacas adultas.

	Edad al primer parto (meses)					Total
	20-27	28-31	32-35	36-39	40-48	
Nodrizas	574	1.062	2.413	2.013	1.593	
Partos totales	2.293	3.591	8.866	6.945	5.423	27.118
Facilidad de parto						
Primíparas	212	594	1.533	1.187	859	4.385
Vacas adultas ¹	983	2.149	5.789	4.383	3.278	16.678
Peso al nacimiento						
Primíparas ¹	290	740	1.856	1.491	1.119	5.496
Vacas adultas ¹	1.310	2.578	6.972	5.466	4.109	20.435
Peso al destete						
Primíparas ¹	82	239	698	489	362	1.870
Vacas adultas ¹	368	900	2.625	1.806	1.326	7.045
Terneros clasificados						
Primíparas ¹	12	55	231	169	69	536
Vacas adultas ¹	82	287	1.236	781	263	2.649
Terneros sacrificados						
Primíparas ¹	46	139	409	288	230	1.112
Vacas adultas ¹	246	537	1.658	1.141	918	4.500

¹ Datos procedentes de los hijos/as de las nodrizas de cada grupo.

Tabla 5.2.2. Media fenotípica de caracteres funcionales, caracteres de tipo y caracteres de producción para cada uno de los grupos de edad al primer parto para para primíparas y vacas adultas.

		Edad al primer parto (meses)				
		20-27	28-31	32-35	36-39	40-48
Caracteres funcionales						
Edad al primer parto (meses)		25,3	30,3	34,2	37,6	43,8
Facilidad de parto (1-4)	Primíparas	1,19	1,19	1,18	1,22	1,24
	Vacas adultas	1,10	1,13	1,13	1,15	1,15
Intervalo entre partos (días)	Primíparas	477,6	472,7	465,4	469,9	474,0
	Vacas adultas	439,3	446,9	439,4	446,3	451,9
Número de partos		4,7	4,4	4,7	4,5	4,4
Caracteres de tipo (valoraciones lineales)						
Desarrollo muscular (0-100) ¹	Primíparas	49,8	57,4	61,3	59,4	54,4
	Vacas adultas	54,2	57,5	59,2	58,9	56,7
Desarrollo esquelético (0-100) ¹	Primíparas	54,0	60,0	65,5	62,8	59,2
	Vacas adultas	57,0	61,4	65,3	63,3	60,7
Aptitudes funcionales (0-100) ¹	Primíparas	56,3	57,7	58,1	59,5	58,2
	Vacas adultas	57,5	58,8	58,9	59,3	59,3
Caracteres de producción						
Peso al nacimiento (kg) ¹	Primíparas	43,6	42,5	42,6	43,3	43,8
	Vacas adultas	44,7	44,4	44,5	44,7	45,1
Peso al destete (kg) ¹	Primíparas	258,2	266,7	265,1	262,0	262,0
	Vacas adultas	273,6	276,1	276,7	274,1	271,7
Clasificación de la canal (1-15) ¹	Primíparas	9,60	9,60	9,50	9,70	9,60
	Vacas adultas	9,08	9,44	9,45	9,60	9,60
Crecimiento canal (kg/día) ¹	Primíparas	0,85	0,84	0,85	0,87	0,87
	Vacas adultas	0,88	0,88	0,88	0,89	0,89

¹Datos procedentes de los hijos/as de las nodrizas de cada grupo.

- **Descripción de sistema de producción y manejo:** El manejo fue no estacional, pero los ganaderos tendieron a evitar partos en verano y en invierno (Figura 5.2.1). Aproximadamente el 45% de los partos tuvieron lugar entre febrero y junio y el 28% entre septiembre y diciembre. Un pequeño número de partos tuvo lugar en verano e invierno. Los partos de primavera fueron los más comunes, con un 10% en marzo, abril y mayo y con menos de un 6% en julio, agosto y diciembre.

Figura 5.2.1. Porcentaje de partos por mes en la población de Blonda de Aquitania.

5.2.2 Análisis estadístico

Se realizaron dos análisis para cada uno de los caracteres, uno considerando solo los datos de los primeros partos (resultados de la nodriza en su primer parto o de su primer hijo/a) y otro considerando todos los partos de estas nodrizas. El caso que incluyó solo el primer parto se denomina resultados de **primíparas** y considerando todos los partos, **vacas adultas**. Se utilizaron modelos mixtos en los cuales el efecto rebaño-año fue incluido como un efecto aleatorio y como efectos fijos se incluyeron, el grupo de edad al primer parto (1 a 5), la estación, el sexo, el número de parto (solo para los análisis de nodrizas), la situación en el momento de la clasificación, el matadero y la edad del animal (como covariable). En los análisis de nodrizas se incluyó un efecto ambiental permanente, considerando un modelo de medidas repetidas. Para los análisis se utilizó el programa LmerTest del software R (Kuznetsova et al., 2016) estableciendo un valor de significación estadística de $P < 0,05$. Se estimaron las medias ajustadas por mínimos cuadrados para cada grupo de edad a primer parto para cada uno de los caracteres estudiados utilizando el paquete lsmeans del software R (Lenth, 2016) y paquete LmerTest (Kuznetsova et al., 2016).

Se exigieron al menos 3 datos por grupo de comparación eliminando aquellos grupos con menor número de datos. La significación de los efectos considerados para cada carácter se muestra en la Tabla 5.2.3 para primíparas y en la Tabla 5.2.4 para nodrizas incluyendo en la Tabla 5.2.4. el porcentaje de varianza explicado por los efectos aleatorios.

Tabla 5.2.3. Significación estadística de los efectos considerados para cada uno de los caracteres analizados.

Carácter	Efecto						
	EPP _G	GC ¹	Estación	Sexo	Edad	Matadero	Situación
Intervalo entre partos	-	***	-	-	-	-	-
Facilidad parto	-	***	***	***	-	-	-
Desarrollo muscular	-	***	*	-	***	-	**
Desarrollo esquelético	-	***	-	-	***	-	-
Aptitudes funcionales	-	***	-	***	*	-	-
Peso al nacimiento	***	***	***	***	-	-	-
Peso al destete	-	***	***	***	***	-	-
Crecimiento canal	-	***	***	***	***	**	-
Clasificación canal	*	***	-	***	*	***	-

* $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$.

¹GC: grupos de comparación rebaño – año.

Tabla 5.2.4. Significación estadística de los efectos considerados para cada uno de los caracteres analizados en nodrizas, porcentaje de varianza explicado por los efectos aleatorios incluidos.

Carácter	Efecto									% σ^2 explicada por efectos aleatorios	
	EPP _G	GC ¹	Estación	Sexo	Nº parto	Edad	Matadero	Situación	Ep ²	% σ^2 GC	% σ^2 ep
Intervalo entre partos	-	***	***	-	***	-	-	-	***	16,2	3,9
Facilidad parto	-	***	***	***	***	-	-	-	***	17,2	4,8
Desarrollo muscular	*	***		-	-	-		-	-	20,6	-
Desarrollo esquelético	-	***	***	***	-	***	-	***	***	29,8	5,2
Aptitudes funcionales	-	***	-	-	***	***	-	*	***	27,7	4,6
Peso al nacimiento	-	***	-	***	-	*	-	-	***	56,8	8,7
Peso al destete	***	***	***	***	***	-	-	-	***	40,1	8,3
Crecimiento canal	-	***	-	***	***	***	-	-	***	25,7	6,1
Clasificación canal	-	***	***	***	***	***	***	-	***	21,7	6,2

* $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$.¹GC: grupos de comparación rebaño – año.²ep: Efecto ambiental permanente.

5.2.3 Estimación de la importancia económica

Se estimaron las diferencias económicas entre cada uno de los grupos de estudio, con diferente edad al primer parto. La repercusión económica de la edad al primer parto fue estimada a partir de la función de beneficio desarrollada en el apartado 5.1. Se consideraron las medias de edad al primer parto expuestas en la Tabla 5.2.2. La Tabla 5.2.5 muestra los datos medios utilizados para el desarrollo de la función de beneficio y la estimación de ingresos y costes de cebo y costes de producción.

Tabla 5.2.5. Caracteres y condicionantes utilizados para el desarrollo de la función de beneficio.

Caracteres y condicionantes	
Fertilidad y mortalidades	Media
Mortalidad 0-48 h (%)	2
Mortalidad hasta el destete (%)	2
Mortalidad en cebo (%)	1
Mortalidad adulta (%)	1
Intervalo entre partos (días)	444
Edad al último parto (años)	12
Pesos y caracteres de crecimiento	
Peso al nacimiento machos (kg)	46,3
Peso al nacimiento hembras (kg)	43,7
Peso al destete machos (kg) ¹	292
Peso al destete hembras (kg) ¹	262
Crecimiento canal machos (kg/día)	0,97
Crecimiento canal hembras (kg/día)	0,78
Peso canal vacas de desecho (kg)	454
Peso adulto (kg)	650
Caracteres de la canal y precios	
Clasificación de la canal (SEUROP)	U
Rendimiento canal machos (%)	59
Rendimiento canal hembras (%)	57
Precio kg canal medio (€/kg) ²	3,96
Precio kg canal vaca de desecho (€/kg)	3,00
Rendimiento canal vaca de desecho (%)	54
Condiciones de manejo y precios de suplementación	
Edad al sacrificio (días)	385
Edad al destete (días)	180
Duración cebo de vacas de desecho (día)	120
Precio UFL (€/UFL) ³	0,12
Precio UFC (€/UFC) ⁴	0,25

¹Peso al destete a 180 días.

²El precio de kg de la hembra al sacrificio fue considerado 0,30€/kg mayor que el de machos.

³UFL (1.700 Kcal energía neta).

⁴UFC (1.820 Kcal energía neta).

5.2.4 Análisis genético

Para el análisis genético se utilizó toda la información procedente de las 301 explotaciones en el periodo de 1983 a 2015 (utilizados en el análisis estadístico en el apartado 5.2.1) e información de animales no incluidos en el análisis estadístico (no procedente de las nodrizas con edad al primer parto entre 20 y 48 meses) que están conectados por pedigrí para cada uno de los caracteres definidos en el apartado 5.2.1. La información utilizada en el análisis genético procedente de un total de 310 explotaciones se expone en la Tabla 5.2.6.

Tabla 5.2.6. Media (desviación estándar), número de datos y número de grupos de comparación (GC: rebaño-año) incluidos en el análisis genético para cada uno de los caracteres.

	Media (d.e)	Nº datos	Nº GC ¹
Edad al primer parto (meses)	35,9 (5,4)	7.067	1.115
Facilidad de parto (1-4)	1,13 (0,41)	25.146	921
Intervalo entre partos (días)	442,9 (103,0)	28.292	1.482
Número de partos	7,13 (1,91)	1.413	269
Desarrollo esquelético	63,21 (11,67)	2.826	244
Desarrollo muscular	58,38 (11,01)	2.826	244
Aptitudes funcionales	63,17 (11,69)	2.826	244
Peso al destete (kg)	276,73 (55,05)	10.388	667
Peso al nacimiento (kg)	45,17 (5,58)	31.471	1.482
Crecimiento diario de la canal (kg/d)	0,89 (0,15)	7.381	551
Clasificación de la canal (1-15)	9,55(1,49)	7.381	551

¹Número de grupos de comparación rebaño – año, se exigió al menos 3 datos por grupo de comparación.

Se estimaron las heredabilidades y las correlaciones genéticas con la edad al primer parto realizando un análisis bicarácter utilizando un modelo animal utilizando el programa VCE 6.0 (Groeneveld et al., 2008). Se utilizaron modelos lineales para todos los caracteres. El efecto rebaño-año, animal y el efecto permanente fueron incluidos como efectos aleatorios y como efectos fijos el resto de los efectos del modelo para cada carácter. Los efectos considerados y su significación estadística se exponen en la Tabla 5.2.7 siendo determinados mediante un análisis de varianza estableciendo un valor de significación de $P < 0,05$. Para el intervalo entre partos y la facilidad de parto se utilizó un modelo de medidas repetidas incluyendo el efecto permanente. Para facilidad de parto se incluyó el efecto materno en el modelo. Para el análisis de la edad al primer parto solo se incluyó el efecto rebaño-año en el modelo. Debido al bajo número de datos para los caracteres de desarrollo muscular, desarrollo esquelético y aptitudes funcionales, el peso al nacimiento se incluyó como un tercer carácter en cada uno de los análisis para mejorar las estimaciones y predicciones. Se utilizó un

pedigrí con 49.322 animales y se establecieron 12 grupos genéticos de acuerdo a la fecha de nacimiento. Se exigieron al menos 3 datos por grupo de comparación.

Tabla 5.2.7. Efectos incluidos en los modelos utilizados en la valoración genética de cada uno de los caracteres.

Carácter	Efectos incluidos en el modelo							
	GC ¹	Estación	Nº parto	Sexo	Matadero	Efecto permanente	Efecto maternal	Edad
Edad al primer parto	X	-	-	-	-	-	-	-
Intervalo entre partos	X	X	X	-	-	X	-	-
Facilidad de parto	X	X	X	X	-	X	X	-
Peso al destete	X	X	X	X	-	X	-	X
Peso al nacimiento	X	X	X	X	-	-	-	X
Crecimiento canal diario	X	X	X	X	X	-	-	X
Clasificación canal	X	X	X	X	X	-	-	X
Desarrollo esquelético	X	X	X	X	-	-	-	X
Desarrollo muscular	X	X	X	X	-	-	-	X
Aptitudes funcionales	X	X	X	X	-	-	-	X
Nº de partos	X	-	-	-	-	-	-	-

¹GC: grupos de comparación rebaño – año

5.3 Predicción del valor de la canal a partir de las valoraciones lineales y los pesos vivos a 120 y 210 días.

En este apartado se estimó la relación entre las valoraciones lineales y los pesos a los 120 y 210 días y los caracteres crecimiento canal y clasificación de la canal. Se desarrollaron modelos de predicción de los caracteres crecimiento canal y clasificación de la canal utilizando la información de valoraciones lineales y pesadas en vivo. Se utilizó la información de las razas Blonda de Aquitania y Limusina como casos de estudio.

5.3.1 Descripción de la población de estudio

Se utilizaron los datos proporcionados por las Asociaciones Nacionales de criadores de Limusín (FECL) y de Blonda de Aquitania (CONABA) del control de rendimientos desde 2002 a 2016. La población de estudio incluyó datos de 24.344 terneros sacrificados entre 10 y 18 meses de edad, 38.855 terneros con peso ajustado a 120 días, 34.823 terneros con peso ajustado a 210 días, y 20.802 terneros clasificados mediante una calificación lineal de 16 caracteres (valoraciones lineales).

Las valoraciones lineales se realizaron por un único calificador en Blonda de Aquitania y por 10 calificadores en Limusina (el calificador de Blonda de Aquitania también califica en Limusina). Los animales fueron calificados para un total de 16 caracteres en una escala de 1 a 10 siguiendo la clasificación IBOVAL (L'Institut de l'Élevage, 2017). Los 16 caracteres fueron: anchura de cruz, anchura de dorso, anchura de pecho, anchura de trocánteres, anchura de ancas, anchura de nalga, longitud de dorso, longitud de pelvis, longitud de nalga, desarrollo, profundidad de pecho, rectitud de dorso, redondez de nalga, espesor del lomo, grosor de cañas, rectitud de dorso y nota de engrasamiento. Además, en el momento de la calificación se anotó la situación del animal en relación al destete (0: antes del destete; 1: en el destete; 2: después del destete) y la edad.

Los pesos en vivo se registraron entre los 3 y 10 meses de edad. Del total de registros, los pesos entre 90 y 150 días fueron ajustados a 120 días. Los pesos entre 180 y 240 días fueron ajustados a 210 días.

El crecimiento canal se definió como el cociente entre el peso canal expresado en kg y la edad al sacrificio expresada en días. La clasificación de la canal se realizó de forma visual en matadero de acuerdo a la escala SEUROP (CEE, 1981 y 1991) y se transformó a una escala de 1 a 15 para su análisis. Para estos caracteres se utilizaron los datos de los animales sacrificados entre 10 y 18 meses de edad.

Las medias fenotípicas, las desviaciones estándar y el número de datos para cada una de las 16 valoraciones lineales, el peso a los 120 días, el peso a los 210 días, el peso canal, el crecimiento canal y la clasificación de la canal se muestran en la Tabla 5.3.1.

Tabla 5.3.1. Media, desviación estándar (d.e) y número de datos (n) de los caracteres de la canal, pesos en vivo y valoraciones lineales para la población de Limusina, Blonda de Aquitania y la población total.

Caracteres	Limusina			Blonda de Aquitania			Total	
	Media	d.e	n	Media	d.e	n	Media	d.e
Caracteres de la canal								
Peso canal (kg)	310,0	54,2	15.741	347,8	63,5	8.603	323,3	60,4
Edad al sacrificio (días)	403,9	52,4	15.741	395,1	50,5	8.603	400,8	51,9
Crecimiento canal (kg/día)	0,8	0,1	15.741	0,9	0,2	8.603	0,8	0,2
Clasificación de la canal (1-15)	8,4	1,6	15.675	9,6	1,5	8.588	8,8	1,6
Pesos en vivo (kg)								
Peso ajustado a 120 días	163,8	27,7	31.924	29,94	176,6	6.931	166,1	38,8
Peso ajustado a 210 días	268,7	44,5	25.488	48,22	292,3	9.335	275,0	34,8
Valoraciones lineales (1-10)								
Anchura de cruz	5,55	1,25	17.701	5,72	1,28	3.101	5,58	1,25
Achura de dorso	5,25	1,27	17.701	5,24	1,26	3.101	5,25	1,27
Anchura de pecho	6,29	1,25	17.701	5,64	1,04	3.101	6,20	1,25
Anchura trocánteres	5,58	1,11	17.701	6,53	1,10	3.101	5,73	1,16
Anchura ancas	6,29	1,26	17.701	5,64	1,05	3.101	6,25	1,23
Anchura nalgas)	6,05	1,08	17.701	6,38	1,17	3.101	6,10	1,10
Longitud dorso	6,56	1,37	17.701	6,79	1,27	3.101	6,59	1,36
Longitud pelvis	6,04	1,34	17.701	6,23	1,29	3.101	6,06	1,33
Longitud nalgas	6,22	0,99	17.701	5,77	1,09	3.101	6,16	1,03
Desarrollo	6,02	1,45	17.701	6,16	1,42	3.101	6,04	1,45
Profundidad de pecho	5,69	1,18	17.701	6,12	0,87	3.101	5,76	1,15
Redondez de nalga	6,19	1,29	17.701	6,56	1,08	3.101	6,26	1,26
Espesor del lomo	5,06	1,23	17.701	5,75	1,25	3.101	5,62	1,24
Grosor de la cañas	3,20	1,14	17.701	4,43	1,55	3.101	3,38	1,28
Rectitud de dorso	6,19	1,29	17.701	6,56	1,08	3.101	6,26	1,26
Nota de engrasamiento	5,58	1,24	17.701	5,40	1,30	3.101	5,55	1,25

5.3.2 Análisis estadístico y modelos de predicción

En primer lugar, se realizó un análisis de componentes principales para las valoraciones lineales incluyendo los datos de toda la población, con 20.802 terneros clasificados. Para el análisis se utilizó el paquete MASS de R (Venables y Ripley, 2002).

En un segundo análisis se estimó el coeficiente de correlación de Pearson entre las 16 valoraciones lineales incluyendo los 20.802 terneros y la correlación con el peso vivo a los 120 días y el peso vivo a los 210 días. Se incluyeron en el análisis un total de 13.576 animales que disponían de información de valoraciones lineales y peso vivo a los 120 días (11.907 de Limusina y 1.669 de Blonda de Aquitania) y 11.112 animales que disponían de peso vivo a los 210 días y valoraciones lineales (9.634 de Limusina y 1.478 de Blonda de Aquitania). Se estimó también la correlación entre peso vivo a los 120 días y peso vivo a los 210 días incluyendo 27.049 animales (24.681 de Limusina y 2.368 de Blonda de Aquitania). Estos análisis se realizaron para la población de Blonda de Aquitania, la de Limusina y para ambas de poblaciones juntas.

En tercer lugar, se estimaron las correlaciones de Pearson entre los caracteres crecimiento canal y clasificación de la canal y valoraciones lineales, peso vivo a los 120 días y peso vivo a los 210 días. Las correlaciones fueron estimadas para la población total, Limusina y Blonda de Aquitania.

En cuarto lugar, se desarrollaron siete modelos de predicción combinando los distintos grupos de caracteres (peso vivo a los 120 días, peso vivo a los 210 días y valoraciones lineales) para predecir el crecimiento y la clasificación de la canal (siete modelos para cada uno de ellos). Para determinar los caracteres a incluir en cada modelo se realizó una regresión paso a paso (Backward/forward) estableciendo un nivel de significación del 5% para la inclusión de los caracteres en los modelos. Los análisis fueron realizados utilizando el paquete MASS del software R (Venables y Ripley, 2002). Cada modelo fue establecido para la población total, y Limusina y Blonda de Aquitania por separado, obteniendo un total de 21 modelos. Los modelos finales fueron comparados a partir del coeficiente de determinación.

El ajuste de la predicción de cada uno de los modelos se valoró mediante una validación cruzada. Para ello se seleccionó aleatoriamente el 90% de la población como referencia y se predijo el crecimiento canal o la clasificación de la canal, en cada caso, del 10% restante. Este proceso se realizó 10 veces. Los valores predichos fueron comparados con los valores reales a partir de la media de la correlación de Pearson y del error de las 10 iteraciones de la validación cruzada.

Los modelos de la población total fueron validados en la población total y en Blonda de Aquitania (TOTAL_{BA}) y en Limusina (TOTAL_{LIM}) por separado. En todos los modelos fue incluido el sexo, la situación del ternero en el momento de la clasificación respecto al destete (0: antes del destete; 1: en el destete; 2: después del destete) y la edad de ternero en el momento de la calificación y del sacrificio, ajustando la edad de sacrificio a 400 días y la edad de clasificación a 210 días. En los modelos diseñados a partir de la información total se incluyó el efecto raza (Limusina o Blonda de Aquitania). La Tabla 5.3.2 muestra el número de animales de los que se disponía de información crecimiento canal y clasificación de la canal y de peso vivo a los 120 días, peso vivo a los 210 días y valoraciones lineales o disponen de ambos.

Tabla 5.3.2. Número de animales con información de caracteres de canal (crecimiento canal y clasificación de la canal) y peso a los 120 días, peso a los 210 días y valoraciones lineales en Blonda de Aquitania y en Limusina.

	Blonda de Aquitania	Limusina
P120 ¹	1.293	4.076
P210 ²	2.497	3.236
VL ³	981	3.355
P120+VL	524	2.860
P210+VL	465	2.275
P120 +P210	681	3.176
P120+P210+VL	313	2.254

¹P120: Peso vivo ajustado a 120 días.

²P210: Peso vivo ajustado a 210 días.

³VL: Valoraciones lineales.

5.4 Establecimiento de los índices de selección (índice de reposición y terminal) e inclusión de la reducción de las emisiones de metano y estrategias para su mitigación.

5.4.1 Descripción de la población de estudio

La información fue proporcionada por CONABA, incluyendo registros fenotípicos de nodrizas y terneros. Las medias fenotípicas, número de datos, número de rebaños con información de cada carácter y años con información disponible para cada carácter se muestran en la Tabla 5.4.1. Los caracteres analizados fueron edad al primer parto, intervalo entre partos, facilidad de parto, peso de vaca de desecho, clasificación canal de vaca de desecho, peso canal del ternero, crecimiento canal del ternero y clasificación canal del ternero. La edad al primer parto se definió como la edad en meses del primer parto entre 20 y 48 meses. La facilidad de parto fue medida al parto en una escala de 1 a 5, donde 1 es sin asistencia, 2 es ligera ayuda, 3 es ayuda, 4 es cesárea y 5 es mala presentación del ternero. El 5 fue considerado accidental y se excluyeron los partos con nota 5 en los estudios. El intervalo entre partos fue definido como el número de días entre dos partos consecutivos, descartando los intervalos entre partos inferiores a 300 y superiores a 730 días. El peso canal de la vaca de desecho se definió como el peso de la canal de animales sacrificados con una edad mayor a dos años. La clasificación de la canal de terneros y vacas de desecho fue registrada de acuerdo a la clasificación SEUROP (CEE, 1981) transformada a una escala de 1 a 15. El crecimiento canal fue definido como el cociente entre peso canal expresado en kg y la edad al sacrificio expresada en días. El peso al destete se definió como el peso expresado en kg de peso vivo ajustado a 210 días.

Tabla 5.4.1. Media (desviación estándar), número de datos, número de rebaños y años de información utilizados para cada uno de los caracteres.

Carácter	Media (d.e)	Nº datos ¹	Nº rebaños	Años
Edad al primer parto (meses)	35,8 (5,3)	7.056	238	1983-2016
Facilidad de parto (1-4)	1,13 (0,41)	29.481	138	1990-2016
Intervalo entre partos (días)	417,1 (83,9)	29.562	251	1983-2016
Peso canal de vaca de desecho (kg)	465,9 (116,9)	1.401	70	2004-2016
Clasificación de la canal vaca de desecho (1-15)	7,69 (2,45)	1.401	70	2004-2016
Peso canal (kg)	326,2 (56,0)	8.388	90	2004-2016
Crecimiento diario de la canal (kg/día)	0,893 (0,153)	8.388	90	2004-2016
Clasificación de la canal (1-15)	9,59 (1,47)	8.407	90	2004-2016
Peso al destete (kg)	291,1 (55,2)	8.718	136	2000-2016
Peso al nacimiento (kg)	45,3 (2,9)	36.135	249	1995-2016

¹ Solo se consideraron los registros de aquellos grupos de comparación (rebaño-año) con al menos 3 datos.

5.4.2 Desarrollo de los índices de selección: índice de reposición e índice terminal

5.4.2.1 Definición de los índices

Se diseñaron dos índices de selección: un índice de selección destinado a obtener hembras de reposición que será llamado índice de reposición y un índice terminal, destinado a obtener terneros con alto valor al sacrificio.

En el **índice de reposición** se incluyeron, los caracteres funcionales relacionados con los costes de producción (edad al primer parto, intervalo entre partos, efectos materno de la facilidad de parto, efecto materno del peso al destete, peso adulto, peso canal de desecho, clasificación canal de desecho) y los caracteres de producción relacionados con los ingresos y costes de cebo (efecto directo del peso al destete, efecto directo de la facilidad de parto, crecimiento canal y clasificación de la canal).

En el **índice terminal** solo se incluyeron los caracteres de producción (efecto directo del peso al destete, efecto directo de la facilidad de parto, crecimiento canal y clasificación de la canal).

Para la construcción de los dos índices de selección se utilizó la teoría de los índices de selección (Hazel, 1943) tal que:

$$I = \sum b_i \times x_i \quad \text{Ecuación 5.4.1}$$

Donde b es el vector de coeficientes del carácter i en el índice y x_i el valor genético para el carácter i . El vector de coeficientes b fue calculado de tal forma que se maximiza la correlación entre el objetivo y el índice y se minimiza la varianza del error de predicción:

$$b = G_I^{-1} \cdot G_{IH}' \cdot a \quad \text{Ecuación 5.4.2}$$

Donde G_I es la matriz de varianzas y covarianzas genéticas entre los caracteres del índice; G_{IH} es la matriz de varianzas y covarianzas genéticas entre los caracteres del índice y el objetivo de selección o agregado y a es el peso económico de los caracteres incluidos en el objetivo de selección.

En los índices desarrollados, los caracteres a incluir en el índice de selección coinciden con los del objetivo de selección y, por tanto, los coeficientes del índice (b) coinciden con los pesos económicos derivados de la función de beneficio (a).

5.4.2.2 Estimación de los pesos económicos

Los pesos económicos se calcularon como se indica en la Ecuación 5.1.2 a partir del margen estimado utilizando los caracteres y condicionantes medios de CONABA desde 2011 a 2016 (Tabla

5.4.1). Para la estimación del peso económico de la facilidad de parto se asumió un incremento de un 2% de la mortalidad al nacimiento con el cambio de un punto de facilidad de parto.

Se estimaron los pesos económicos para los caracteres edad al primer parto, intervalo entre partos, facilidad de parto, peso al destete, peso adulto, peso canal de desecho, clasificación canal de desecho, crecimiento canal y clasificación de la canal.

Tabla 5.4.2. Caracteres y condicionantes utilizados para el desarrollo de la función de beneficio y estimación de los pesos económicos de los caracteres de los índices de reposición.

Caracteres y condicionantes	
Fertilidad y mortalidades	Media de 2011-2016
Mortalidad 0-48h (%)	4
Mortalidad hasta el destete (%)	1
Mortalidad en cebo (%)	1
Mortalidad adulta (%)	1
Intervalo entre partos (días)	434,1
Edad al primer parto (meses)	35,7
Edad al último parto (años)	12
Pesos en vivo y datos de crecimiento	
Peso al nacimiento machos (kg)	47,3
Peso al nacimiento hembras (kg)	44,4
Peso al destete machos (kg) ¹	306,6
Peso al destete hembras (kg) ¹	272,0
Crecimiento canal diario machos (kg/día)	0,972
Crecimiento canal diario hembras(kg/día)	0,774
Peso canal vacas de desecho (kg)	453,8
Peso adulto nodrizas (kg)	614,1
Caracteres y condicionantes de la canal	
Clasificación de la canal medio (clasificación SEUROP)	U-
Rendimiento de la canal machos (%)	59
Rendimiento de la canal hembras (%)	57
Precio kg de canal medio (€/kg) ²	3,69
Precio kg canal vaca de desecho (€/kg)	3,00
Rendimiento canal vacas de desecho (%)	55
Condicionantes de manejo	
Edad de sacrificio (meses)	12
Edad al destete (meses)	6
Duración cebo de terneros (días)	185
Duración cebo de vacas de desecho (día)	120
Precio UFL en el Caso A (€/UFL) ³	0,15
Precio UFC en el Caso A (€/UFC) ⁴	0,30
Precio UFL en el Caso B (€/UFL)	0,15
Precio UFC en el Caso B (€/UFC)	0,30
Tasa de Carbono (€/kg CH ₄) ⁵	1,01

¹Peso al destete a 180 días.

²El precio de kg de la hembra al sacrificio fue considerado 0,30€/kg mayor que el de machos.

³UFL (1.700 Kcal Energía Neta).

⁴UFC (1.820 Kcal Energía Neta).

⁵Tasa de carbono calculada según 36.19€/tCO₂ (DECC, 2013).

5.4.3 Inclusión de la reducción de las emisiones de CH₄ en los objetivos de selección

Se plantearon dos estrategias distintas para la reducción de CH₄: la imposición de una tasa de carbono (Escenario 2) y el establecimiento de una cuota de emisiones por explotación (Escenario 3). Como escenario de comparación o referencia se utilizó en índice de reposición (para mejorar la comparación se llamará Escenario 1).

- **Índice de reposición:** Escenario 1 o escenario de referencia donde las emisiones de CH₄ no son consideradas en el objetivo de selección.
- **Escenario 2:** Se incluyó una tasa de carbono al índice de reposición considerando un coste de emisiones de CH₄ o tasa.
- **Escenario 3:** Se estableció una cuota de emisiones por explotación, el objetivo fue mantener constantes las emisiones variando/modificando el número de animales de la explotación.

5.4.3.1 Estimación de los pesos económicos para los tres escenarios

Los pesos económicos se expresaron en €/ternero comercializado/año por unidad de desviación genética y como porcentaje de importancia en cada uno de los índices.

Los pesos económicos para el índice de reposición se calcularon como la derivada del margen descrito en la Ecuación 5.1.2. Para la inclusión de emisiones en el Escenario 2, se consideró un nuevo coste de emisiones (C_{CH_4}), expresado en €/ternero comercializado/año calculado como el coste los kg de CH₄ producidos por los terneros en cebo (M_C) y por el rebaño de vacas, incluyendo novillas, nodrizas y desecho (M_V), con una tasa de carbono por kg de CH₄ (t):

$$C_{CH_4} = t \times (M_C + M_V) \quad \text{Ecuación 5.4.3}$$

Se estimaron los pesos económicos para los dos escenarios expresándolos en €/ternero comercializado/año mediante las siguientes ecuaciones:

- **Índice de reposición:** De acuerdo a la Ecuación 5.1.2. en la situación actual el peso económico se estima así:

$$e_{xi} = \frac{\partial((I_T - C_{CEBO} - C_{PROD}))}{\partial x_i}$$

- **Escenario 2:**

$$e_{xi} = \frac{\partial((I_T - C_{CEBO} - C_{PROD} - C_{CH_4}))}{\partial x_i} \quad \text{Ecuación 5.4.4}$$

- Escenario 3:

$$e_i = \frac{\partial I_T}{\partial x_i} - \frac{\partial C_{CEBO}}{\partial x_i} - \frac{\partial C_{PROD}}{\partial x_i} + \frac{1}{N} \times ((I_T - C_{CEBO} - C_{PROD})) \times \frac{\partial N}{\partial x_i} \quad \text{Ecuación 5.4.5}$$

Donde N es el número de terneros comercializados por explotación y año, que depende de la cuota por de kg CH₄ por explotación y año (Q_T), calculada como:

$$Q_T = N \times (M_C + M_V) \quad \text{Ecuación 5.4.6}$$

Donde M_C son las emisiones procedentes de terneros en cebo, calculadas como la suma de las emisiones por fermentación entérica y manejo del estiércol producidas por el ternero. Las emisiones producidas por las vacas (M_V), calculadas como la suma de las emisiones procedentes de fermentación entérica y manejo del estiércol, producidas por novillas, nodrizas y vacas de desecho. Las emisiones procedentes de terneros y de vacas se expresaron en kg de CH₄ por ternero comercializado y año.

En una situación de cuota $\frac{\partial Q_T}{\partial x_i} = 0$, por tanto:

$$0 = \frac{\partial N}{\partial x_i} \times (M_C + M_V) + N \times \frac{\partial (M_C + M_V)}{\partial x_i} \quad \text{Ecuación 5.4.7}$$

$$\frac{\partial N}{\partial x_i} = - \frac{N \times \frac{\partial (M_C + M_V)}{\partial x_i}}{(M_C + M_V)} \quad \text{Ecuación 5.4.8}$$

Por tanto, los pesos económicos se calculan como:

$$e_i = \frac{\partial I_T}{\partial x_i} - \frac{\partial C_{CEBO}}{\partial x_i} - \frac{\partial C_{PROD}}{\partial x_i} - \frac{1}{N} \times ((I_T - C_{CEBO} - C_{PROD})) \times \left(\frac{N \times \frac{\partial (M_C + M_V)}{\partial x_i}}{(M_C + M_V)} \right) \quad \text{Ecuación 5.4.9}$$

Los pesos económicos se estimaron utilizando la información de la Tabla 5.4.2 para los caracteres peso adulto, edad al primer parto, intervalo entre partos, peso canal de desecho, clasificación canal de desecho, facilidad de parto, peso destete, crecimiento canal diario y clasificación

de la canal. Para la estimación del peso económico de las emisiones de CH₄ de nodriza y emisiones de CH₄ de ternero se utilizó la media de la estimación que se describe a continuación.

5.4.3.2 Estimación de las emisiones de metano

Las emisiones de CH₄ debidas a fermentación entérica y manejo de estiércol se dividieron en dos caracteres, emisiones procedentes de terneros en cebo y emisiones procedentes de vacas, ambas expresadas en kg de CH₄/ternero comercializado/año.

Se calcularon los kg de CH₄ predichos individualmente para 7.498 terneros y 4.573 nodrizas. Solo se utilizaron los datos de las vacas que tuvieran al menos 2 partos. Las emisiones de terneros fueron predichas a partir de la energía bruta (MJ/ternero comercializado/año), estimada a partir de los caracteres peso al nacimiento, peso al destete y crecimiento canales diarios (Apéndice 3). Las emisiones procedentes de las vacas se predijeron a partir del peso al nacimiento, peso al destete, peso vaca de desecho, peso adulto, mortalidades e incluyeron los períodos de novilla, nodriza (desde el primer parto hasta la decisión de desecho) y vaca de desecho, que se utilizaron para predecir la energía bruta (Apéndice 3).

Ambas emisiones procedentes de terneros en cebo y procedentes de vacas, incluyeron el CH₄ producido por fermentación entérica (M_e) y manejo del estiércol (M_m) que se calcularon siguiendo las recomendaciones de IPCC (2006):

$$M_e = \frac{EB \times Y_M}{55,65} \quad \text{Ecuación 5.4.10}$$

$$M_m = (EB \times (1 - \frac{DE}{100}) + (EU \times EB)) \times (1 - \frac{Ceniza}{18,45}) \times (B_0 \times 0,656 \times \frac{FCM}{100} \times MS) \quad \text{Ecuación 5.4.11}$$

Donde EB es la energía bruta calculada como las necesidades energéticas expresadas en MJ/ternero comercializado/año, estimada a partir de parámetros productivos y pesos vivos (Apéndice 3); Y_M es el factor de conversión del CH₄ (Cambra-López et al., 2008); DE es digestibilidad, la cual se asumió constante (70% para dietas en nodrizas y 75% para terneros en cebo); EU es la energía de la orina expresada como fracción de la EB , definida como la excreción de sólidos volátiles en kg por día y kg materia seca; $Ceniza$ es el contenido en ceniza del estiércol calculado como una fracción de la materia seca ingerida; B_0 es la capacidad máxima de producción de CH₄; FCM es el factor de

conversión del metano procedente de estiércol y MS es la fracción del estiércol procedente de ganado.

Los valores de Y_M , DE , EU , EB , $Ceniza$, B_0 , FCM , y MS se asumieron constantes de acuerdo a las recomendaciones de IPCC para el oeste de Europa con una temperatura media anual de 14°C (IPCC, 2006). Los valores asumidos para el sistema de manejo líquido del estiércol se muestran en la Tabla 5.4.3.

Tabla 5.4.3. Valores medios utilizados en la estimación de las emisiones de CH_4 (adaptado de IPCC, 2006).

	Nomenclatura	Valor
Factor de conversión del CH_4 (%)	Y_M	5,027
Digestibilidad (%) ¹	DE	70/75
Energía urinaria (kg SV d ⁻¹) ²	EB	0,040
Contenido de ceniza del estiércol (kg ceniza/Kg estiércol)	Ceniza	0,080
Capacidad máxima de producción de CH_4 del estiércol (kg CH_4 / Kg estiércol)	B_0	0,180
Factor de conversión del CH_4 en estiércol (%)	FCM	0,420
Fracción de CH_4 en ganadería (%)	MS	0,252

¹Digestibilidad considerada para kg de alimento de nodrizas y terneros.

²SV: sólidos volátiles.

5.4.4 Análisis genético

Se estimaron las componentes de varianza con un modelo bicarácter utilizando regresión Bayesiana. La Tabla 5.4.4 describe los efectos incluidos en el modelo para cada carácter estudiado a partir de la información expuesta en la Tabla 5.4.1.

Los análisis fueron realizados utilizando el programa TM (Legarra et al., 2011) y se guardaron 50.000 muestras de la distribución marginal descartando las primeras 10.000 como “burn-in”. Se incluyeron un total de 60.358 animales en pedigrí.

Los efectos fijos incluidos fueron rebaño-año (GC: grupo de comparación), estación, número de parto, sexo, matadero, partos y edad, como efectos aleatorios se incluyeron el efecto rebaño-año, el efecto ambiental permanente, el efecto materno y el efecto animal. Se utilizaron modelos lineales para todos los caracteres excepto para el carácter facilidad de parto, que fue analizado como un carácter umbral con cuatro niveles.

Para los caracteres emisiones de CH_4 se utilizó como fenotipo la estimación de kg de CH_4 /ternero comercializado/año, para vacas y terneros en cebo.

Tabla 5.4.4. Efectos incluidos en cada modelo de valoración para cada uno de los caracteres analizados.

Carácter	Efectos incluidos en el modelo									Nº datos
	GC ¹	Estación	Nº parto	Sexo	Matadero	Efecto permanente	Efecto maternal	Edad	Partos ²	
Edad al primer parto	X	X	-	-	-	-	-	-	-	7,056
Intervalo entre partos	X	X	X	-	-	X	-	-	-	29.562
Facilidad de parto ¹	X	X	X	X	-	X	X	-	-	29.481
Peso al destete	X	X	X	X	-	X	X	-	-	8.718
Crecimiento canal diario	X	X	X	X	X	-	-	X	-	8.422
Clasificación canal	X	X	X	X	X	-	-	X	-	8.407
Peso canal desecho	X	X	-	X	X	-	-	X	-	1.401
Clasificación canal desecho	X	X	-	X	X	-	-	X	-	1.401
Emisiones de CH ₄ vacas	X	-	-	-	-	-	-	-	X	4.573
Emisiones de CH ₄ ternero	X	X	X	X	X	-	-	X	-	7.498

¹GC: grupo de comparación rebaño-año² Se consideró el efecto del número de partos de la vaca (1: dos partos; 2: más de 2 partos).

5.4.5 Estimación de la respuesta a la selección

A partir de los pesos económicos estimados y los parámetros genéticos (ver Anexo 3) se estimaron las respuestas genéticas esperadas, utilizando el software desarrollado por Van de Werf (2011) para cada uno de los índices planteados, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Rs = i \times r_{IH} \times \sigma_H \quad \text{Ecuación 5.4.2}$$

Donde i es la intensidad de selección, r_{IA} es una correlación múltiple entre los caracteres del índice I y los valores mejorantes H y σ_H es la raíz cuadrada de la varianza genética aditiva de la población (Falconer y Mackay, 1996).

6 RESULTADOS

6.1 Función de beneficio: aplicación de la beneficio a dos casos de estudio

6.1.1 Parámetros productivos

La Tabla 6.1.1 muestra los parámetros productivos para la Explotación A y la Explotación B y en la situación óptima de fertilidad y edad al primer parto para ambas (A+ y B+). Las dos explotaciones tuvieron una baja fertilidad expresada en número de partos por nodriza y año debido a un elevado intervalo entre partos, 514 y 458 días, para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente. La edad al primer parto cercana a los tres años implicó que fuera necesario un alto número de lotes de novillas (2,46 y 2,22, para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente). El intervalo entre partos y la edad al primer afectaron en ambas explotaciones a la productividad expresada en número de terneros comercializados por nodriza y año, que está determinada por la fertilidad y la tasa de reposición. La Explotación A tuvo una menor fertilidad y unas mayores tasa de reposición y numero de lotes de novillas debido a los mayores periodos improductivos.

Tabla 6.1.1. Parámetros productivos para la Explotación A y la Explotación B y en la situación óptima (A+ y B+) con menores períodos improductivos (intervalo entre partos de 365 días y edad al primer parto de 730 días).

Parámetros productivos	Explotación			
	A	B	A+	B+
Fertilidad (número de partos/nodriza/año)	0,71	0,79	1,00	1,00
Tasa de reposición (número de novillas/nodriza/año)	0,12	0,12	0,11	0,11
Número de lotes de novillas (número de lotes/nodriza/año)	2,46	2,22	1,50	1,50
Productividad (terneros comercializados/nodriza/año)	0,56	0,63	0,85	0,85
Tasa de desecho (número de vacas de desecho/nodriza/año)	0,11	0,10	0,09	0,09

En la situación óptima se estableció como objetivo reducir el intervalo entre partos hasta los 365 días produciéndose en una paridera concentrada. Para ello sería necesario reducir el intervalo entre partos en 149 y 93 días en la Explotación A y la Explotación B, respectivamente. Con esta reducción la fertilidad aumentaría en 0,29 y 0,21 partos por nodriza y año. El objetivo para la edad al primer parto se estableció en los 2 años y en el caso de las dos explotaciones supondría una reducción de 350 y 267 días de edad al primer parto. Esto afectaría al número de terneras destinadas a reposición, disminuyendo la tasa de reposición anual en 0,01 y el número de lotes de novillas en 0,96 y 0,77, para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente. El objetivo de productividad para ambos casos sería de 0,85 terneros comercializados por nodriza y año, aumentando en 0,29 y 0,22 terneros comercializados por nodriza y año para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente.

Asumiendo la longevidad (edad de desecho) constante, la mejora en la fertilidad y del número de partos por vaca a lo largo de toda su vida productiva disminuye la tasa de reposición y aumentan el número de terneras comercializadas anualmente, para las dos explotaciones.

6.1.2 Parámetros económicos

La Tabla 6.1.2 muestra los costes, los ingresos y el margen por ternero comercializado y año estimados utilizando los caracteres y condicionantes para las dos explotaciones y para la situación óptima en ambos casos. El valor de ingresos obtenido por un ternero comercializado medio fue de 1.060 €. Las pequeñas diferencias en los ingresos obtenidas en las dos explotaciones y en la situación óptima (A+ y B+) se debieron al aumento del porcentaje de hembras comercializadas, determinada por la tasa de reposición. Con una menor tasa de reposición se comercializarían más hembras y afectaría al ternero comercializado medio de la explotación. En el escenario óptimo el porcentaje de hembras comercializadas aumentaría en un 2,8% y 1,7% para la Explotación A+ y la Explotación B+, respectivamente comparados con la Explotación A y la Explotación B. Esta variación en los ingresos percibidos por la venta de hembras y machos se debe al menor peso de las hembras al sacrificio y a un mayor valor del kg canal comercializada de hembra. En ambos casos se obtendrían valores similares de ingresos, debido a que el mayor valor del kg de canal de la hembra compensa el menor crecimiento.

Tabla 6.1.2. Parámetros económicos para la explotación A y B, ingresos y costes actuales y en la situación óptima (Explotación A+ y Explotación B+) con menores períodos improductivos (intervalo entre partos de 365 días y edad al primer parto de 730 días).

Parámetros económicos (€/ternero comercializado/año)	Explotación			
	A	B	A+	B+
Ingresos	1.060	1.068	1.057	1.065
Coste de cebo	465	438	461	435
Coste de producción	576	549	400	437
Margen	19	81	197	192

El coste de cebo fue ligeramente superior para la Explotación A debido a un mayor peso al destete (28kg más) y, por consiguiente, unas mayores necesidades energéticas de mantenimiento. Sin embargo, la Explotación A tuvo una menor ganancia media diaria durante el cebo y las diferencias en costes de cebo entre las dos explotaciones fueron bajas. La mejora de la fertilidad y de la edad al primer parto afectaría ligeramente al coste de cebo aumentando el número de hembras cebadas. La mayor proporción de hembras disminuiría ligeramente el coste cebo debido a unas menores necesidades energéticas de mantenimiento y crecimiento (suponiendo una edad al sacrificio constante). El coste

de cebo por ternero comercializado sería similar en el Escenario óptimo para los dos casos de estudio con una reducción de 0,9% y 0,7% para la Explotación A y la Explotación B, (4€ y 3€), respectivamente.

Las diferencias en el coste de producción entre las dos explotaciones fueron de 27€/ternero comercializado/año y se debieron a un intervalo entre partos menor (56 días), una edad al primer parto menor (83 días) y un peso adulto 15 kg menor para la Explotación B. La reducción de los períodos improductivos produciría unas menores necesidades de alimentación por ternero comercializado y año, tanto para nodrizas como para novillas. El número de terneros comercializados aumentaría en 0,29 y 0,22 terneros comercializados/nodrizas/año, en las explotaciones mejoradas, A+ y B+, produciéndose una disminución significativa de los costes de alimentación debido a que el coste se diluye entre un mayor número de terneros comercializados anualmente. La reducción en los costes de producción sería de 176€ y 112€ para A+ y B+, respectivamente. Esta cantidad se traduciría en un descenso de un 31% y 20% del coste de producción para la Explotación A y la Explotación B, lo que supondría un incremento del margen por ternero comercializado de 178€ y 111€/ternero comercializado, en A+ y B+.

6.1.3 Pesos económicos

La Tabla 6.1.3 muestra los pesos económicos expresados en €/ternero comercializado/año por unidad de variación de cada carácter para la Explotación A y la Explotación B y para la situación óptima, A+ y B+. Los caracteres se dividen en funcionales y de producción.

6.1.3.1 Caracteres funcionales

Los pesos económicos del peso adulto fueron negativos debido a que su aumento implicaría un incremento de las necesidades energéticas de nodrizas y novillas. Un aumento de 1 kg de peso adulto incrementaría las necesidades energéticas en 2,82 UFL y 2,84 UFL por vaca y año para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente. No obstante, el aumento del peso adulto también produciría una mejora de los ingresos obtenidos por la venta de vacas de desecho, de tal forma que los ingresos por vacas de desecho aumentaron en 0,21 € y 0,18€/ternero comercializado/año, respectivamente.

Un día de incremento del intervalo entre partos reduciría la tasa de fertilidad y, por tanto, la productividad (número de terneros comercializados por nodriza y año). El incremento del intervalo entre partos aumentaría las necesidades de mantenimiento de la nodriza por ternero comercializado. Además, debido a que el coste fue expresado por ternero comercializado, al disminuir el número de terneros comercializados el coste sería soportado por un menor número de terneros, lo que produciría

que el coste de las nodrizas fuera 1,24€ y 1,19€ mayor, para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente.

Tabla 6.1.3. Pesos económicos expresados en €/ternero comercializado/año por unidad de variación de cada carácter (entre paréntesis) para la situación actual de la Explotación A y la Explotación B, y para la situación óptima, Explotación A+ y Explotación B+ con menores períodos improductivos (intervalo entre partos de 365 días y edad al primer parto de 730 días).

Carácter (unidad de variación), €/ ternero comercializado/año	Explotación			
	A	B	A+	B+
Caracteres funcionales				
Peso adulto (+1kg),	-0,43	-0,38	-0,30	-0,30
Edad al primer parto (+1d),	-0,13	-0,11	-0,07	-0,07
Intervalo entre partos (+1d)	-1,06	-1,02	-0,89	-0,90
Edad al último parto(+1d)	0,03	0,03	0,01	0,01
Mortalidad 0-48 h (+1%)	-5,86	-5,63	-4,01	-4,46
Mortalidad hasta el destete (+1%)	-5,96	-5,73	-4,11	-4,56
Mortalidad en cebo (+1%)	-8,23	-7,88	-6,40	-6,72
Mortalidad adulta (+1%)	-8,92	-7,34	-5,08	-4,90
Precio desecho ¹ (+0,06 €/kg)	4,59	3,59	2,61	2,61
Ganancia media diaria de vacas de desecho en cebo (+0.01 kg/d)	2,47	1,63	1,55	1,18
Rendimiento canal vacas de desecho (+1%)	3,09	2,42	1,93	1,75
Caracteres de producción				
Ganancia media diaria hasta el destete (+0,01 kg/d)	2,56	2,84	2,55	2,83
Ganancia media diaria en cebo (+0,01 kg/d)	2,65	2,99	2,67	3,01
Clasificación de la canal (+1 clase de clasificación SEUROP)	16,39	15,35	16,31	15,30
Rendimiento canal de ternero comercializado (+1%)	18,22	18,23	18,19	18,19
Edad de sacrificio (+1 día)	0,27	0,44	0,21	0,14
Crecimiento diaria de la canal (+0,01kg/día)	9,00	10,09	9,07	10,03

¹ Incremento de precio equivalente al aumento de 1 punto de 1 a 15 de la calificación SEUROP.

Los pesos económicos para la edad al primer parto fueron negativos debido a que el aumento de la edad al primer parto produciría un aumento de la tasa de reposición y del número de lotes de novillas, aumentando del coste de cría de 0,16€ y 0,14€/ternero comercializado/año. El incremento de los periodos improductivos (edad al primer parto e intervalo entre partos) produciría un aumento de los ingresos por vacas desecho por ternero comercializado, aumentando la tasa de reposición y de desecho, determinados por la longevidad productiva del rebaño). El incremento de la mortalidad en

cualquiera de las fases disminuiría la productividad y por tanto incrementaría el coste de producción por ternero comercializado y año.

En la situación óptima la reducción de los períodos improductivos en A+ y B+ daría lugar a un aumento del número de terneros comercializados y, por tanto, del margen por ternero comercializado, gracias a una disminución de los costes, lo que produciría cambios en los pesos económicos de los caracteres funcionales. Los pesos económicos del intervalo entre partos disminuirían en 0,17€ y 0,12€/ternero comercializado/año en A+ y B+ en comparación con A y B, suponiendo un 16% y 12% de reducción en sus pesos económicos, respectivamente, debido a un menor coste de producción por unas menores necesidades de las nodrizas y una mayor productividad. Los pesos económicos de la edad al primer parto disminuirían en 0,06€ y 0,04 €/ternero comercializado/año para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente debido a un menor coste de recría por un menor número de lotes de novillas. El aumento del número de terneros comercializados en A+ y B+ ocasionaría una importante pérdida en la importancia en los caracteres relacionados con las vacas de desecho, pues los ingresos se diluyen entre un mayor número de terneros comercializados, por una menor recría y una mayor comercialización de terneros. El peso económico de la edad al último parto disminuiría en un 79% y en un 61% en A+ y B+, comparado con A y B. Los caracteres relacionados con la mortalidad también se verían afectados. El peso económico de la mortalidad adulta se reduciría en un 43% y 33% y el de la mortalidad hasta el destete en 31% y 21% para A+ y B+, respecto a A y B, debido a un menor coste de producción por ternero. En general al alcanzar, la situación óptima los pesos económicos de los caracteres funcionales perderían importancia económica.

6.1.3.2 Caracteres de producción

La mejora de la ganancia media diaria en todas las fases (hasta el destete, cebo y cebo de vacas de desecho) incrementaría el peso al sacrificio y, por tanto, aumentarían ingresos por ternero comercializado. Un incremento de 0,010 kg/d en la ganancia media diaria en cebo implicaría un aumento del peso canal en 1,08 kg lo que haría aumentar los ingresos. Además, el aumento de la ganancia media diaria en cebo también produciría un aumento de las necesidades energéticas de crecimiento y, por tanto, un aumento del coste de cebo a una misma edad de sacrificio. El coste de alimentación en cebo aumentaría en 6,15UFC y 6,14 UFC/ternero comercializado/año, lo que se traduciría en un aumento del coste de cebo de 1,28€ y 1,22€/ternero comercializado/año.

Para el peso económico de la clasificación de la canal se estimó que 1 punto más de clasificación en una escala 1-15 produciría un incremento de valor del kg de canal y, por tanto, de los ingresos. Un incremento del 1% del rendimiento canal produciría un aumento de 4,69 kg y 4,36 kg de

peso canal, lo que significaría 18,63€ y 19,04€ más de ingresos, para A y B, respectivamente. La mejora del carácter crecimiento canal diario produciría un aumento de 14,21€ y 15,01€ en los ingresos y de 5,21 y 5,01€ en los costes de cebo. La reducción de los periodos improductivos no afectaría a los pesos económicos de los caracteres de producción relacionados con el ternero con cambios menores del 1%. Sin embargo, sí afectaría a los caracteres relacionados con el disminuyendo su importancia entre el 37 y 43% en A+ y en 27% en B+.

La principales diferencias entre la Explotación A y la Explotación B, en cuanto a los pesos económicos, se obtuvieron en los caracteres relacionados con el desecho, con una mayor importancia en la Explotación A (22% al 34% más). Las diferencias en los caracteres funcionales fue un peso económico mayor para la Explotación A del peso adulto y la edad al primer parto, siendo un 12% y un 15% mayor por unidad de cambio. La mortalidad adulta tuvo un peso económico más alto para la Explotación A, debido a su mayor coste de producción, un incremento de la mortalidad produce un incremento del coste de producción por ternero comercializado, al ser mayor es impacto económico es mayor en la Explotación A el impacto económico es mayor para la Explotación A. En los caracteres de producción la principal diferencia fue en la ganancia media diaria hasta el destete y en cebo, así como el crecimiento canal diario, con una importancia por unidad de cambio mayor para la Explotación B (11% y 12%). En la situación óptima las principales diferencias se observaron en los caracteres de mortalidad, con mayor peso económico para B+ y en los caracteres de crecimiento, ganancia media diaria hasta el destete y en cebo y crecimiento canal diario, también con peso económico más alto para B+. En cambio los caracteres de desecho tuvieron una mayor importancia en A+.

6.2 Importancia de la edad al primer parto

6.2.1 Influencia de la edad primer parto en caracteres funcionales, de producción y caracteres de tipo.

La Tabla 6.2.1 muestra las medias ajustadas por mínimos cuadrados para los caracteres analizados en las nodrizas en su primer parto (primíparas), para cada uno de los cinco grupos establecidos según la edad al primer parto. Con los datos obtenidos en el primer parto. En primíparas solo se encontraron diferencias significativas entre los grupos de edad al primer parto para el peso al nacimiento y la clasificación de la canal. Hubo una tendencia a presentar un mayor peso al nacimiento con una mayor edad al primer parto, con una ligera diferencia de 0,5 kg entre el grupo 20-27 meses respecto al 40-48 meses de edad al primer parto, pero no se encontraron diferencias significativas entre el grupo de edad al primer parto 20-27 meses y los demás grupos.

Las nodrizas con edad al primer parto más temprana dieron lugar a mejores valores de clasificación de la canal con una diferencia de entre 0,5 y 0,7 puntos, pero no hubo una tendencia clara, no encontrándose diferencias entre los demás grupos. No se estimaron diferencias significativas entre los grupos de edad al primer parto para las valoraciones lineales de desarrollo muscular, desarrollo esquelético y aptitudes funcionales. Esto pudo ser debido al elevado error estándar de las estimas debido al bajo número de animales clasificados en el grupo de 20 a 27 meses. En el carácter crecimiento canal diario no se encontró un patrón claro entre grupos, estimándose mejor crecimiento canal diario en el grupo de 36-39 meses.

Tabla 6.2.1. Medias ajustadas por mínimos cuadrados y error estándar para cada uno de los grupos de edad al primer parto de caracteres funcionales y productivo en primíparas.

	Edad al primer parto (meses)				
	20-27	28-31	32-35	36-39	40-48
Intervalo entre parto (días)	479,7±8,9	473,9±6,2	464,8± 4,3	462,8±4,7	463,1±5,3
Facilidad de parto (1-4)	1,2±0,04	1,2±0,03	1,2±0,02	1,2±0,02	1,2±0,02
Desarrollo muscular (0-100)	51,1±4,1	55,3±2,7	56,6±2,5	55,4±2,5	56,7±2,7
Desarrollo esquelético (0-100)	61,4±3,5	58,6±1,9	61,7±1,3	60,7±1,4	62,7±1,8
Aptitudes funcionales (0-100)	56,0±3,2	58,2±1,6	58,6±0,9	58,4±1,0	57,3±1,5
Peso al nacimiento (kg)	43,7±0,3 ^{abc}	42,9±0,2 ^c	43,1±0,2 ^c	43,6±0,2 ^b	44,2±0,2 ^a
Peso al destete (kg)	275,1±5,4	280,7±3,5	280,0±2,5	280,8±2,8	284,2±3,5
Crecimiento canal diario (kg/día)	0,86±0,02	0,86±0,01	0,87±0,01	0,88±0,02	0,88±0,01
Clasificación de la canal (1-15)	9,4±0,3 ^a	8,9±0,2 ^{ab}	8,7±0,2 ^b	8,9±0,2 ^{ab}	8,7±0,2 ^{ab}

^{a,b,c} letras distintas por fila indican diferencias significativas entre las medias estimadas.

La Tabla 6.2.2 muestra las medias ajustadas por mínimos cuadrados de cada uno de los grupos de edad al primer parto para vacas adultas, incluyendo los datos durante toda su vida productiva. No se encontraron diferencias significativas en fertilidad (intervalo entre partos), valoraciones lineales y caracteres de producción. Sin embargo, si se obtuvieron diferencias significativas entre los grupos de edad al primer parto para el peso al nacimiento y el número de partos. El peso al nacimiento fue 0,6-0,7 kg mayor para los grupos con edad al primer parto mayor a 36 meses. Los grupos de edad al primer parto 20-27 y 32-35 meses obtuvieron los valores más altos en el número de partos, con una diferencia de 0,4 partos respecto a los grupos de edad al primer parto mayor a 35 meses. El resultado más relevante es que los animales con menor edad presentaron una mayor longevidad productiva sin deterioro en los otros caracteres estudiado.

Tabla 6.2.2. Medias ajustadas por mínimos cuadrados y error estándar para cada uno de los grupos de edad al primer parto de caracteres funcionales y productivo en vacas adultas.

	Edad al primer parto (meses)				
	20-27	28-31	32-35	36-39	40-48
Intervalo entre parto (días)	449,9±10,9	458,0±10,7	452,1±10,5	455,7±10,6	456,5±10,6
Facilidad de parto (1-4)	1,1±0,03	1,1±0,02	1,1±0,02	1,1±0,02	1,1±0,03
Número de partos	4,78±0,14 ^a	4,52±0,11 ^b	4,76±0,08 ^a	4,50±0,09 ^b	4,49±0,06 ^b
Desarrollo muscular (0-100)	57,6±1,5	60,0±1,2	60,4±1,1	60,7±1,1	59,7±1,2
Desarrollo esquelético (0-100)	56,1±1,5	58,7±1,2	58,9±1,0	59,4±1,1	58,4±1,2
Aptitudes funcionales (0-100)	54,7±1,2	57,1±0,7	57,5±0,5	57,9±0,6	56,8±0,7
Peso al nacimiento (kg)	44,8±0,3 ^{bc}	44,8±0,3 ^c	44,9±0,3 ^{bc}	45,1±0,3 ^b	45,5±0,3 ^a
Peso al destete (kg)	278,7±4,8	278,8±4,5	279,7±4,3	281,1±4,4	280,3±4,4
Crecimiento canal diario (kg/día)	0,87±0,01	0,87±0,01	0,86±0,01	0,87±0,01	0,87±0,01
Clasificación de la canal (1-15)	8,9±0,18	9,0±0,17	8,9±0,16	9,0±0,16	8,9±0,17

^{a,b,c} letras distintas por fila indican diferencias significativas entre las medias estimadas.

6.2.2 Parámetros genéticos

En la Tabla 6.2.3 se muestran la heredabilidad de los caracteres analizados y su correlación genética con la edad al primer parto. La heredabilidad de la edad al primer parto fue moderada (0,17). La reducción del primer parto no es un objetivo de los ganaderos de CONABA actualmente. Una heredabilidad de 0,17 indica que en la raza Blonda de Aquitania la precocidad podría ser un objetivo de selección. El carácter que presentó una mayor heredabilidad fue el crecimiento canal, seguido del peso al destete, peso al nacimiento y clasificación de la canal, con valores que oscilan entre 0,29 y 0,42. La heredabilidad más baja se estimó para los caracteres funcionales facilidad de parto materna e

intervalo entre partos (0,04-0,02). Las valoraciones lineales de desarrollo muscular, esquelético y aptitudes funcionales obtuvieron una heredabilidad de moderada a alta, entre 0,27 y 0,35.

Tabla 6.2.3. Heredabilidad y correlación genética con la edad al primer parto ($\pm$ error estándar) para los caracteres estudiados.

Carácter	Heredabilidad	Correlación genética con edad al primer parto
Caracteres funcionales		
Edad al primer parto	0,17 $\pm$ 0,02	-
Facilidad de parto directa ¹	0,13 $\pm$ 0,01	0,27 $\pm$ 0,09
Facilidad de parto materna ²	0,04 $\pm$ 0,01	-0,39 $\pm$ 0,09
Intervalo entre partos	0,02 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,13
Número de partos	0,19 $\pm$ 0,03	-0,29 $\pm$ 0,11
Valoraciones lineales morfológicas		
Desarrollo muscular	0,27 $\pm$ 0,05	0,13 $\pm$ 0,14
Desarrollo esquelético	0,34 $\pm$ 0,04	-0,29 $\pm$ 0,14
Aptitudes funcionales	0,35 $\pm$ 0,02	-0,16 $\pm$ 0,11
Caracteres de producción		
Peso al nacimiento	0,29 $\pm$ 0,02	0,15 $\pm$ 0,05
Peso al destete	0,29 $\pm$ 0,03	-0,04 $\pm$ 0,10
Crecimiento canal diario	0,42 $\pm$ 0,04	-0,05 $\pm$ 0,09
Clasificación de la canal	0,24 $\pm$ 0,04	0,05 $\pm$ 0,10

¹Facilidad de parto directa: efecto genético directo en el carácter facilidad de parto.

²Facilidad de parto materna: efecto genético materno en el carácter facilidad de parto.

La mayoría de los caracteres presentaron correlaciones genéticas moderadas con la edad al primer parto, excepto el número de partos y la facilidad de parto. La correlación genética entre edad al primer parto y el número de partos fue negativa (-0,29), ya que las nodrizas más precoces presentaron una longevidad productiva mayor (número de partos). No se obtuvo correlación significativa entre la edad al primer parto y el intervalo entre partos (0,14). La facilidad de parto directa mostró una correlación positiva con edad al primer parto (0,27), lo que significa que nodrizas con una edad al primer parto más tardía presentaron más dificultad al parto. Sin embargo se estimó una correlación genética negativa entre la edad al primer parto y la facilidad de parto materna (-0,39), lo que se asocia, por tanto, a una mejor aptitud maternal al parto. El desarrollo esquelético y las aptitudes funcionales mostraron una correlación moderada negativa con la edad al primer parto. Así, las nodrizas más precoces presentaron un menor desarrollo esquelético. La clasificación de la canal y el crecimiento canal diario obtuvieron correlaciones genéticas muy bajas, indicando que la edad al primer parto no

tiene influencia sobre los caracteres carniceros. Los errores estándar obtenidos, especialmente en los caracteres de producción, fueron altos debido al bajo número de datos para estos caracteres.

6.2.3 Impacto económico de la edad al primer parto

Los parámetros productivos estimados para cada uno de los cinco grupos de edad al primer parto se exponen en la Tabla 6.2.4. Los parámetros fueron el número de lotes de novillas (grupos de hembras destinadas a reposición), número de partos por nodriza, la tasa de reposición, el porcentaje de hembras comercializadas por ternero comercializado y la productividad o número de terneros comercializados por nodriza y año.

Un incremento en edad al primer parto produjo un aumento del número de lotes de novillas destinadas a reposición y, por consiguiente, un menor número de hembras vendidas por año. El número de lotes necesarios para el grupo de edad al primer parto entre 20 y 27 meses fue la mitad que para el grupo de edad al primer parto 40-48 meses. Para el grupo entre 20 y 27 meses solo fue necesario el lote de primer año y de segundo año para mantener constante el número de nodrizas del rebaño.

Las nodrizas con una edad al primer parto mayor tuvieron 1,4 partos menos que las nodrizas con una edad al primer parto entre 20 y 27 meses. La diferencia en tasa de reposición entre 40-48 meses y 20-27 meses, fue 1,4% menor lo que significa que un mayor número de hembras son comercializadas incrementando la productividad en un 1,4% respecto a las más tardías debido a una menor tasa de reposición y a un mayor número de hembras comercializadas.

Tabla 6.2.4. Parámetros productivos para cada uno de los grupos de edad al primer parto.

	Edad al primer parto (meses)				
	20-27	28-31	32-35	36-39	40-48
Número de lotes de novillas	1,58	2,01	2,31	2,60	3,10
Partos por nodriza estimados ¹	9,36	9,01	8,75	8,50	8,08
Reposición (%)	9,00	9,36	9,63	9,90	10,42
Porcentaje de hembras sacrificadas (%) ¹	44,66	44,48	44,28	44,12	43,81
Productividad (%)	72,30	71,96	71,69	71,43	70,93

¹Partos por nodriza estimados ver ecuación A.9.

²Porcentaje de hembras sacrificadas por ternero comercializado.

El impacto económico en los parámetros productivos en la Tabla 6.2.4 se muestran en la Tabla 6.2.5. Se exponen los ingresos, los costes y el margen por ternero comercializado para cada uno de los grupos de edad al primer parto.

Se observó un impacto en los ingresos debido al mayor porcentaje de hembras comercializadas para los grupos de menor edad al primer parto, lo que afectó al valor del ternero comercializado medio. Esto es debido a diferente precio del kg de las hembras comparado con los machos y su diferente peso al sacrificio. Las hembras tuvieron un menor crecimiento diario (0,18 kg/día) que los machos pero su valor por kg de canal fue de 0,30€/kg mayor, obteniendo resultados similares en ingresos por ternero comercializado medio.

El coste de producción fue menor en los grupos más precoces debido a la reducción de los períodos improductivos de la recría y al mayor número de terneros comercializados por vaca y año. Los grupos de menor edad tuvieron un menor coste de producción debido al menor número de lotes destinados a reposición y a un coste de alimentación menor de las novillas desde el destete hasta su primer parto, teniendo la novilla un menor período de recría.

En este trabajo se consideraron unas mayores necesidades energéticas para aquellas novillas más precoces, para que alcanzasen un peso adecuado a la primera cubrición. De acuerdo al peso adulto de las nodrizas, un peso adecuado a la primera cubrición sería 365kg, que corresponde al 65% del peso adulto. Este peso a la primera cubrición se alcanzaría a los 16, 21, 25, 28 y 31 meses de edad para cada uno de los grupos de edad al primer parto. Este aumento de necesidades diarias significó una mayor suplementación diaria, pero durante un menor período de tiempo en caso de una menor edad al primer parto, disminuyendo el coste de alimentación de las novillas. La diferencia estimada en el coste fue de 27,9€ por ternero comercializado y año entre el grupo de menor y mayor edad al primer parto.

Tabla 6.2.5. Parámetros económicos para cada uno de los grupos de edad al primer parto.

	Edad al primer parto (meses)				
	20-27	28-31	32-35	36-39	40-48
Ingresos (€/ternero comercializado/año)	1.449,2	1.449,7	1.450,1	1.450,6	1.451,4
Coste de reposición (€/ternero comercializado/año) ¹	23,9	30,9	36,3	41,6	51,7
Coste de producción (€/ternero comercializado/año)	438,4	446,9	453,7	460,5	473,4
Coste de cebo (€/ternero comercializado/año)	790,5	790,8	791,1	791,3	791,7
Margen (€/ternero comercializado/año)	220,3	212,0	205,3	198,8	186,3

¹Coste de reposición incluido en el coste de producción.

Además, la tasa de reposición fue de 1,4% más para el grupo de mayor edad al primer parto, esto produjo una menor productividad, por no comercializar este porcentaje de hembras. La mayor duración del período improductivo del grupo más tardío dio lugar a mayores costes de producción, con una diferencia de 35€ comparando con el grupo de edad al primer parto 20-27 meses y de 19,7€ respecto al grupo de 32-35 meses.

Comparando los grupos de menor y mayor edad al primer parto con edad al primer parto de 33-35 meses, la diferencia en el margen fue de 34 y 15€, lo que significa un incremento del 18,2% y 10,3% del margen por ternero comercializado y año. Se ha de tener en cuenta que este incremento del margen se estimó por cada ternero comercializado por la nodriza y para una edad de desecho constante, el grupo de 20 a 27 meses obtendría 9,36 terneros de media y el 40 a 48 meses obtendría 8,08, obteniendo 1,36 terneros más (Tabla 6.2.3).

6.3 Predicción del crecimiento canal y la conformación de la canal

6.3.1 Análisis de las valoraciones lineales

Se realizó un análisis de componentes principales incluyendo las valoraciones lineales morfológicas de los 20.802 animales de la población de las razas Limusina y Blonda de Aquitania. En la Tabla 6.3.1 se muestran las correlaciones entre cada una de las valoraciones lineales y las tres primeras componentes principales la desviación estándar y el porcentaje de la varianza explicada para cada una de las compontes.

Las tres primeras componentes principales resumieron el 73,7% de la varianza. La primera componente principal explicó el 55% de la varianza, con una mayor correlación con los caracteres redondez de nalga, anchura de ancas, anchura de cruz, anchura de dorso, anchura de pecho y anchura de trocánteres. La segunda componente principal explicó un 12% de la varianza y tuvo una mayor correlación con los caracteres desarrollo, longitud del dorso y longitud de pelvis. La tercera componente principal explicó el 6,7% de la varianza con una mayor correlación con grosor de cañas y rectitud de dorso.

Tabla 6.3.1. Correlación entre cada valoración lineal y cada una de las tres componentes principales para la población total, desviación estándar de las componentes principales y porcentaje de varianza incluida en cada componente y proporción de varianza acumulada.

	Componente principal 1	Componente principal 2	Componente principal 3
	Muscularidad	Tamaño	-
Anchura ancas	-0,299	-0,010	-0,025
Redondez de nalga	-0,296	0,125	0,002
Anchura cruz	-0,291	0,155	-0,064
Anchura dorso	-0,288	0,156	0,048
Anchura pecho	-0,287	0,016	0,117
Anchura trocánteres	-0,284	0,114	-0,119
Espesor del lomo	-0,276	0,144	0,055
Anchura nalga	-0,267	0,215	0,013
Profundidad pecho	-0,257	0,081	-0,018
Longitud nalga	-0,245	0,089	0,108
Nota de engrasamiento	-0,223	0,165	0,147
Longitud pelvis	-0,222	-0,497	-0,083
Longitud dorso	-0,219	-0,511	-0,096
Desarrollo	-0,209	-0,524	-0,083
Rectitud de dorso	-0,123	-0,142	0,624
Grosor de cañas	-0,114	0,104	-0,718
Desviación estándar	2,968	1,384	1,037
Proporción de varianza	0,550	0,120	0,067
Proporción de varianza acumulada	0,550	0,670	0,737

De acuerdo a los resultados expuestos en la Tabla 6.3.1 y las Figuras 6.3.1 y 6.3.2, se diferencian tres grupos de caracteres. En un primer lugar las anchuras (nalga, dorso, pecho y a la cruz), profundidad de pecho, nota de engrasamiento y longitud y redondez de nalga, relacionados con la muscularidad (primera componente principal). En segundo lugar, se diferencia la longitud del animal y tamaño, representada por la longitud de dorso y longitud de pelvis y el desarrollo (segunda componente), relacionados con el tamaño del animal, y en tercer lugar, dos caracteres independientes, grosor de cañas y rectitud de dorso.

AC: anchura cruz; AD: anchura de dorso; AP: anchura pecho; AT: anchura trocánteres AA: anchura ancas; AN: anchura nalga; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; LN: longitud nalga; DS: desarrollo; PP: profundidad pecho; GC: grosor cañas; EL: espesor lomo; RN: redondez nalga; RD: rectitud dorso; NT: nota de engrasamiento

Figura 6.3.1. Autovectores de las valoraciones lineales en la población total (Componente principal 1 vs Componente principal 2).

AC: anchura cruz; AD: anchura de dorso; AP: anchura pecho; AT: anchura trocánteres AA: anchura ancas; AN: anchura nalga; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; LN: longitud nalga; DS: desarrollo; PP: profundidad pecho; GC: grosor cañas; EL: espesor lomo; RN: redondez nalga; RD: rectitud dorso; NT: nota de engrasamiento.

Figura 6.3.2. Autovectores de las valoraciones lineales en la población total (Componente principal 2 vs Componente principal 3).

6.3.2 Correlaciones fenotípicas entre valoraciones lineales, pesadas en vivo y caracteres de la canal.

La Tabla 6.3.2 muestra las correlaciones fenotípicas entre todas las valoraciones lineales y los pesos a 120 días y 210 días en la población total. Entre las valoraciones lineales y el peso a los 120 días y el peso a los 210 días, las correlaciones fueron bajas entre 0,06 y 0,40, siendo los caracteres más correlacionados con el peso a los 120 días, la longitud de dorso, pelvis y el desarrollo (0,39-0,41), mientras que los caracteres más correlacionados con el peso a los 210 días, fueron además de la longitudes de dorso y pelvis y el desarrollo, las anchuras de cruz, nalga, ancas y trocánteres y la redondez de nalga (0,39-0,42). Por otra parte, la correlación entre los dos pesos al destete (peso a los 120 y 210 días) fue alta (0,81).

Los resultados coinciden con el análisis de componentes principales realizado. Los caracteres más correlacionados fueron las anchuras de cruz, dorso, pecho, ancas, trocánteres, nalga y la redondez de nalga que compondrían el primer grupo de caracteres y la longitud de dorso, pelvis y el desarrollo en la segunda componente (Figura 6.3.1 y Figura 6.3.2).

Tabla 6.3.2. Correlaciones entre las valoraciones lineales y el peso a los 120 días y el peso a los 210 días en la población total incluyendo la información de la raza Blonda de Aquitania y Limusina.

	AC	AD	AA	AP	AT	AN	EL	PP	RN	GC	LD	LP	DS	LN	NT	RD	P120	P210
AC		0,90	0,72	0,70	0,76	0,68	0,74	0,61	0,74	0,34	0,42	0,43	0,40	0,59	0,59	0,23	0,31	0,40
AD			0,70	0,69	0,74	0,68	0,75	0,60	0,72	0,29	0,40	0,42	0,38	0,59	0,61	0,33	0,27	0,36
AA				0,85	0,74	0,68	0,68	0,65	0,83	0,30	0,56	0,58	0,53	0,61	0,47	0,30	0,33	0,39
AP					0,63	0,64	0,67	0,62	0,82	0,19	0,50	0,52	0,48	0,63	0,50	0,33	0,30	0,34
AT						0,70	0,67	0,65	0,74	0,34	0,45	0,46	0,41	0,62	0,55	0,20	0,33	0,42
AN							0,71	0,62	0,76	0,26	0,33	0,32	0,30	0,57	0,57	0,22	0,28	0,38
EL								0,58	0,74	0,26	0,40	0,40	0,37	0,55	0,56	0,29	0,29	0,36
PP									0,68	0,25	0,40	0,43	0,38	0,56	0,50	0,23	0,32	0,39
RN										0,29	0,44	0,45	0,41	0,60	0,55	0,26	0,32	0,40
GC											0,17	0,16	0,15	0,17	0,16	-0,05	0,15	0,21
LD												0,90	0,91	0,36	0,30	0,29	0,39	0,40
LP													0,88	0,39	0,29	0,28	0,38	0,39
DS														0,36	0,28	0,28	0,40	0,41
LN															0,52	0,24	0,28	0,32
NT																0,23	0,25	0,35
RD																	0,06	0,04
P120																		0,81

AC: anchura cruz; AD: anchura de dorso; AP: anchura pecho; AT: anchura trocánteres AA: anchura ancas; AN: anchura nalga; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; LN: longitud nalga; DS: desarrollo; PP: profundidad pecho; GC: grosor cañas; EL: espesor lomo; RN: redondez nalga; RD: rectitud dorso; NT: nota de engrasamiento; P120: peso vivo a los 120 días; P210: peso vivo a los 210 días.

La Tabla 6.3.3 muestra las correlaciones entre todas las valoraciones lineales y los pesos a 120 y 210 días en Blonda de Aquitania y Limusina por separado. De acuerdo a la Tabla 6.3.2 y el análisis de componentes principales se establecieron tres grupos de caracteres, anchuras, redondez y longitud de nalga y espesor del lomo constituyen el primer grupo en ambas poblaciones con correlaciones mayores de 0,59.

En general, los resultados fueron similares analizando las poblaciones por separado que unificando las dos razas en una única población, con algunas pequeñas diferencias. El primer grupo de caracteres fue similar analizando ambas poblaciones por separado, pero en Limusina la longitud de nalga y en Blonda de Aquitania la redondez de nalga presentaron una mayor correlación con los caracteres del primer grupo o componente. El segundo grupo en las dos poblaciones estuvo formado por longitud de dorso, longitud de pelvis y desarrollo.

En ambas poblaciones, los pesos a 120 y 210 días tuvieron correlaciones similares con las valoraciones lineales (0,07-0,45) siendo los caracteres más correlacionados las longitudes de pelvis y dorso y el desarrollo. Estas valoraciones describen el tamaño del animal, su longitud y su altura, presentando una mayor relación con el peso del animal. El peso a los 210 días presentó mayores

correlaciones que el peso a los 120 días, siendo los caracteres más correlacionados las anchuras cruz, dorso, ancas y de pecho (0,37-0,45) y la longitud de dorso, de pelvis y el desarrollo (0,42-0,43).

Tabla 6.3.3. Correlaciones entre las valoraciones lineales y el peso a los 120 días y el peso a los 210 días en la población de Blonda de Aquitania y en la población de Limusina por separado.

Blonda de Aquitania																		
	AC	AD	AA	AP	AT	AN	EL	PP	RN	LN	GC	LD	LP	DS	NT	RD	P120	P210
AC		0,90	0,69	0,78	0,70	0,71	0,79	0,57	0,66	0,57	0,28	0,38	0,36	0,35	0,64	0,17	0,34	0,47
AD			0,66	0,76	0,67	0,69	0,79	0,56	0,65	0,54	0,26	0,36	0,35	0,33	0,63	0,31	0,30	0,44
AA				0,72	0,91	0,87	0,70	0,61	0,68	0,65	0,17	0,52	0,52	0,50	0,54	0,18	0,38	0,45
AP					0,73	0,74	0,74	0,67	0,67	0,60	0,20	0,40	0,40	0,39	0,60	0,18	0,34	0,45
AT						0,90	0,71	0,60	0,71	0,68	0,20	0,48	0,47	0,45	0,55	0,14	0,37	0,44
AN							0,73	0,57	0,76	0,69	0,16	0,42	0,40	0,38	0,58	0,16	0,35	0,43
EL								0,55	0,73	0,58	0,19	0,37	0,34	0,33	0,60	0,22	0,33	0,42
PP									0,51	0,54	0,13	0,49	0,50	0,48	0,45	0,23	0,33	0,37
RN										0,39	0,12	0,48	0,49	0,46	0,38	0,38	0,27	0,38
LN											0,19	0,35	0,38	0,33	0,48	0,16	0,31	0,34
GC												0,02	0,01	-0,01	0,27	-0,05	0,16	0,21
LD													0,88	0,91	0,34	0,20	0,42	0,42
LP														0,86	0,32	0,20	0,43	0,42
DS															0,30	0,20	0,45	0,43
NT																0,14	0,24	0,35
RD																	0,07	0,06
P120																		0,81
Limusina																		
	AC	AD	AA	AP	AT	AN	EL	PP	RN	LN	GC	LD	LP	DS	NT	RD	P120	P210
AC		0,91	0,73	0,71	0,79	0,68	0,73	0,62	0,62	0,76	0,36	0,43	0,44	0,41	0,58	0,25	0,30	0,38
AD			0,71	0,69	0,79	0,68	0,74	0,61	0,60	0,74	0,32	0,41	0,43	0,39	0,60	0,34	0,27	0,35
AA				0,90	0,73	0,65	0,68	0,65	0,63	0,85	0,32	0,56	0,59	0,53	0,47	0,34	0,33	0,38
AP					0,73	0,66	0,69	0,66	0,62	0,88	0,29	0,53	0,56	0,51	0,48	0,33	0,33	0,37
AT						0,67	0,69	0,65	0,71	0,75	0,29	0,45	0,47	0,42	0,60	0,29	0,32	0,39
AN							0,70	0,62	0,57	0,76	0,27	0,31	0,31	0,28	0,58	0,25	0,27	0,36
EL								0,59	0,56	0,74	0,28	0,40	0,41	0,38	0,56	0,32	0,28	0,35
PP									0,61	0,70	0,25	0,39	0,42	0,36	0,53	0,26	0,32	0,38
RN										0,64	0,26	0,39	0,41	0,37	0,53	0,23	0,30	0,36
LN											0,30	0,46	0,47	0,43	0,56	0,31	0,32	0,39
GC												0,19	0,19	0,18	0,17	0,01	0,13	0,16
LD													0,90	0,91	0,29	0,32	0,38	0,39
LP														0,88	0,29	0,32	0,38	0,39
DS															0,28	0,31	0,40	0,41
NT																0,24	0,26	0,36
RD																	0,08	0,07
P120																		0,80

AC: anchura cruz; AD: anchura de dorso; AP: anchura pecho; AT: anchura trocánteres AA: anchura ancas; AN: anchura nalga; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; LN: longitud nalga; DS: desarrollo; PP: profundidad pecho; GC: grosor cañas; EL: espesor lomo; RN: redondez nalga; RD: rectitud dorso; NT: nota de engrasamiento; P120: peso vivo a los 120 días; P210: peso vivo a los 210 días.

Las correlaciones entre las valoraciones lineales y los pesos a los 120 y 210 días con los caracteres de canal, crecimiento canal diario y clasificación de la canal, para las tres poblaciones se muestran en la Tabla 6.3.4.

Tabla 6.3.4. Correlación de Pearson entre peso a los 120 días, peso a los 210 días, valoraciones lineales y los caracteres crecimiento canal diario (CG) y clasificación de la canal (CC) y el número de datos utilizados (n), para la población de Blonda de Aquitania, Limusina y la población total (combinando la información de ambas razas).

Población	Blonda de Aquitania			Limusina			Total	
	CG	CC	n	CG	CC	n	CG	CC
Pesadas en vivo (kg)								
Peso ajustado a 120 días	0,50	0,06	1.293	0,56	0,13	4.076	0,57	0,16
Peso ajustado a 210 días	0,68	0,11	2.497	0,71	0,22	3.236	0,73	0,26
Valoraciones lineales (1-10)								
Anchura de cruz	0,33	0,18	981	0,33	0,18	3.355	0,33	0,18
Achura de dorso	0,29	0,17	981	0,31	0,19	3.355	0,34	0,19
Anchura de pecho	0,29	0,17	981	0,36	0,21	3.355	0,29	0,17
Anchura trocánteres	0,38	0,25	981	0,35	0,21	3.355	0,39	0,27
Anchura ancas	0,34	0,19	981	0,34	0,18	3.355	0,34	0,17
Anchura nalgas	0,34	0,27	981	0,33	0,27	3.355	0,34	0,27
Longitud dorso	0,31	0,08	981	0,33	0,08	3.355	0,31	0,08
Longitud pelvis	0,31	0,06	981	0,33	0,08	3.355	0,31	0,06
Longitud nalgas	0,26	0,13	981	0,28	0,09	3.355	0,26	0,13
Desarrollo	0,32	0,06	981	0,34	0,06	3.355	0,32	0,06
Profundidad de pecho	0,33	0,2	981	0,32	0,19	3.355	0,33	0,22
Redondez de nalga	0,35	0,26	981	0,34	0,23	3.355	0,32	0,26
Espesor del lomo	0,33	0,22	981	0,34	0,22	3.355	0,33	0,22
Grosor de la cañas	0,27	0,06	981	0,27	0,13	3.355	0,28	0,07
Rectitud de dorso	0,00	0,03	981	0,07	0,07	3.355	0,01	0,03
Nota de engrasamiento	0,22	0,10	981	0,23	0,11	3.355	0,22	0,10

Para los pesos vivos, las correlaciones con el crecimiento canal diario fueron moderadamente altas (0,50-0,56 y 0,68-0,73) para el peso a 120 días y a 210 días, respectivamente. Las correlaciones aumentaron al combinar la información de ambas poblaciones, sobre todo en Blonda de Aquitania que

disponía de una menor cantidad de animales con información de ambos caracteres. Las correlaciones entre los pesos y la clasificación de la canal fueron bajas, con una menor correlación para Blonda de Aquitania. La utilización de la información de las dos poblaciones aumentó ligeramente la correlación con la clasificación de canal tanto para el peso a los 120 días como para el peso a los 210 días, esto puede ser debido a una mayor variabilidad de la clasificación de la canal al combinar la información de ambas poblaciones.

Las correlaciones entre las valoraciones lineales y el crecimiento canal fueron bajas o moderadas, entre 0,00 y 0,38 en Blonda de Aquitania, entre 0,07 y 0,36 en Limusina y entre 0,01 y 0,39 en la población total. Todos los caracteres obtuvieron correlaciones entre 0,22 y 0,39, excepto la rectitud de dorso que tuvo una correlación cercana a 0 en todos los casos con el crecimiento canal. La utilización de toda la información aumentó las correlaciones con el crecimiento canal diario en Limusina, no aumentando en general en Blonda de Aquitania.

Las correlaciones entre las valoraciones lineales y la clasificación canal fueron bajas o moderadas, no mejorando las correlaciones la utilización de toda la población. Los caracteres más correlacionados con la clasificación de la canal fueron la anchura de nalgas, la redondez de nalga, la anchura de trocánteres y espesor del lomo (0,22-0,27).

6.3.3 Modelos de predicción del crecimiento canal y la clasificación de la canal

6.3.3.1 Predicción del crecimiento canal

Se desarrollaron siete modelos de predicción del crecimiento canal que combinan la información de pesadas en vivo y valoraciones lineales (P120, P210, VL, P120+VL, P210+VL, P120+P210 y P120+P210+VL). Los modelos fueron diseñados para cada una de las tres poblaciones, Blonda de Aquitania, Limusina y unificando la información de ambas razas en la población total. La predicción de cada uno de los modelos fue testada mediante validación cruzada. El modelo determinado utilizando la información total se validó en cada una de las poblaciones por separado y en la población total. La Tabla 6.3.5 muestra los coeficientes de cada uno de los caracteres incluidos en la ecuación de los modelos finales de predicción para cada una de las poblaciones utilizadas.

Tabla 6.3.5. Modelos de predicción de crecimiento canal diario utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania, Limusina y la Población total.

	Intercepto	Sexo ¹	Situación ²	Raza ³	P120	P210	AC	AD	AP	AT	AA	AN	LD	LP	LN	DS	PP	GC	EL	RN	RD	NT
Blonda de Aquitania																						
P120	0,689	-0,161			0,0017																	
P210	0,567	-0,142				0,0014																
VL	0,654	-0,156	-0,027/ 0,031				0,017			0,019			-0,011	0,019		0,010			-0,009	0,004	-0,004	
P120+VL	0,505	-0,136	-0,046/ 0,018		0,002		0,019		0,011				-0,013	0,017								
P210+VL	0,466	-0,124	-0,021/ 0,017			0,0015	0,014			0,008			-0,014	0,017							-0,004	-0,009
P120 +P210	0,498	-0,133			0,0003	0,0014																
P120+P210+VL	0,305	-0,134	-0,028/ 0,011		0,0007	0,0011	-0,018			0,018		-0,017		0,011		-0,010						-0,010
Limusina																						
P120	0,575	-0,143			0,0018																	
P210	0,657	-0,154	-0,023/ 0,009				0,004						0,005		0,005	0,009	0,013			-0,002	0,007	
VL	0,449	-0,123				0,0015																
P120+VL	0,495	-0,141	-0,011/ 0,010		0,0016							0,004	0,004				0,008					0,006
P210+VL	0,436	-0,123	-0,007/ 0,003			0,0014			0,003				0,002				0,007			-0,002		
P120 +P210	0,452	-0,124			0,0002	0,0014																
P120+P210+VL	0,438	-0,123	-0,006/ 0,003		0,0001	0,0012			0,003				0,002				0,007			-0,002		
Total																						
P120	0,514	-0,147		0,072	0,0018																	
P210	0,468	-0,131		0,066		0,0015																
VL	0,634	-0,155	-0,021/ 0,016	0,084			0,006		0,004			0,006		0,006	0,005		0,008			-0,003	0,004	
P120+VL	0,493	-0,141	-0,015/ 0,014	0,063	0,0016		0,005		0,004					0,003			0,006					0,004
P210+VL	0,432	-0,124	-0,012/ 0,005	0,050		0,0014	0,004		0,006								0,007	-0,004		-0,003		
P120 +P210	0,392	-0,125		0,057	0,00017	0,0014																
P120+P210+VL	0,435	-0,124	-0,009/ 0,005	0,051	0,0002	0,001	0,003		0,006								0,008	-0,005		-0,002		

¹Sexo: efecto del sexo en caso de hembras se estableció el valor del macho como referencia.

²Situación: coeficiente a incluir según la situación del ternero respecto al destete: 0: antes del destete, 1: al destete y 2 después del destete. Se estableció el valor 1 al destete como referencia.

³Raza: coeficiente a incluir según la raza, se estableció la raza Limusina como referencia.

AC: anchura cruz; AD: anchura de dorso; AP: anchura pecho; AT: anchura trocánteres AA: anchura ancas; AN: anchura nalga; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; LN: longitud nalga; DS: desarrollo; PP: profundidad pecho; GC: grosor cañas; EL: espesor lomo; RN: redondez nalga; RD: rectitud dorso; NT: nota de engrasamiento; P120: peso ajustado a 120 días; P210: peso vivo ajustado a 210 días; VL: valoraciones lineales.

La Tabla 6.3.6 muestra el coeficiente de determinación de cada uno de los modelos finales expuestos en la Tabla 6.3.5 para Blonda de Aquitania, Limusina y la población total (unificando la información de ambas razas). También se muestra el coeficiente de determinación del modelo de predicción diseñado a partir de la población total validado en cada población por separado ($TOTAL_{LIM}$ y $TOTAL_{BA}$).

Tabla 6.3.6. Coeficiente de determinación de cada uno de los modelos de predicción del carácter crecimiento canal diario utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 210 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la Población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado ($TOTAL_{BA}$ y $TOTAL_{LIM}$).

	BA	LIM	TOTAL	$TOTAL_{BA}$	$TOTAL_{LIM}$
P120	0,58	0,62	0,63	0,58	0,62
P210	0,70	0,65	0,72	0,65	0,71
VL	0,55	0,55	0,57	0,59	0,55
P120+VL	0,67	0,65	0,66	0,66	0,65
P210+VL	0,77	0,72	0,74	0,74	0,74
P120 +P210	0,68	0,70	0,71	0,66	0,69
P120+P210+VL	0,76	0,71	0,73	0,75	0,73

Los modelos que proporcionaron un mejor ajuste se basaron en combinación de la información del peso a los 210 días y caracteres de valoraciones lineales. Con los datos procedentes únicamente de Blonda de Aquitania la ecuación de predicción que proporcionó el mejor ajuste incluyó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales de anchura de la cruz y trocánteres, longitud de dorso y de pelvis, rectitud de dorso y nota de engrasamiento. El modelo obtenido en la población de Limusina que obtuvo el mejor ajuste incluyó además del peso a los 210 días, las valoraciones lineales de anchura y profundidad de pecho y longitud y rectitud de dorso. Cuando se combinaron ambas poblaciones en la población total el mejor ajuste se obtuvo combinando el peso a los 210 días y las valoraciones lineales de anchura de cruz y de pecho, desarrollo/estatura, profundidad de pecho y rectitud de dorso.

En general la combinación del peso a los 210 días y las valoraciones lineales proporcionó el mejor ajuste ($R^2 = 0,72-0,77$), obteniendo resultados similares en los modelos que combinaban el peso a los 120 días, el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (0,71-0,75). Por tanto, la inclusión del peso a los 120 días no aportó información relevante en la predicción del crecimiento canal respecto a las predicciones que combinan el peso a los 210 días y las valoraciones lineales. Por su parte, la

inclusión de las valoraciones lineales aumentó el porcentaje de varianza explicada de un 3% a un 9%. La utilización únicamente de las valoraciones lineales obtuvo el peor ajuste (0,55-0,59), seguido del modelo que utilizó como único predictor el peso a los 120 días (0,58-0,62). Los resultados muestran que la combinación de, al menos una pesada en vivo y las valoraciones lineales explican del 65% al 77% de la varianza, por su parte la utilización de las dos pesadas explicaría al menos del 66% al 70% de la varianza.

El modelo obtenido a partir de la unión de la información de ambas razas obtuvo resultados similares o mejores que los modelos obtenidos a partir de la información de cada una de las razas por separado, excepto en los modelos P120+VL, P210+VL y P120+P210+VL en Blonda de Aquitania. Al aplicar el modelo diseñado en la población total en cada una de las poblaciones por separado se redujo ligeramente el coeficiente de determinación en Blonda de Aquitania ($TOTAL_{BA}$ vs Blonda de Aquitania) y se obtuvieron resultados similares o mejores en Limusina ($TOTAL_{LIM}$ vs Limusina). Si se compara el modelo que proporcionó el mejor ajuste (P210+VL) se obtuvo un menor coeficiente de determinación que en el modelo diseñado solo utilizando la información de Blonda de Aquitania (0,03), mientras que en Limusina los resultados fueron mejores (0,02). En ambos casos el modelo diseñado unificando la información explicó un porcentaje de varianza similar (72%-77%).

La validez de las predicciones se estimó mediante la media de la correlación de Pearson y del error entre valores predichos y reales de las 10 iteraciones de la validación cruzada de cada modelo. En la Tabla 6.3.7 se muestran los resultados obtenidos por los modelos desarrollados incluyendo los caracteres determinados para cada una de las poblaciones por separado y unificando la información. También se muestran los resultados obtenidos al utilizar el modelo de predicción desarrollado para la población total en cada población por separado ($TOTAL_{LIM}$ y $TOTAL_{BA}$).

En general, los modelos que obtuvieron las mejores predicciones en todas las poblaciones combinaron el peso a los 210 días y las valoraciones lineales. Estos modelos obtuvieron los menores valores de error (0,066-0,074) y los mayores valores de correlación (0,84-0,86). En Blonda de Aquitania el modelo que predijo con menor error y mayor correlación fue el modelo que combinó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales, al igual que en Limusina. En la población total las mejores predicciones se obtuvieron con el modelo que combinó el peso a los 120 días, el peso a los 210 días y las valoraciones lineales, obteniendo menor error que el modelo que combinaba el peso a los 210 días y las valoraciones lineales pero mismo valor de correlación.

Tabla 6.3.7. Media de medio del error y del coeficiente de correlación de Pearson (desviación estándar) de las 10 iteraciones de la validación cruzada, utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado (TOTAL_{BA} y TOTAL_{LIM}).

Error (desviación estándar) ¹					
	BA	LIM	TOTAL	TOTAL _{BA}	TOTAL _{LIM}
P120	0,092 (0,007)	0,077 (0,002)	0,082 (0,003)	0,108 (0,007)	0,078 (0,002)
P210	0,084 (0,002)	0,067 (0,005)	0,091 (0,003)	0,099 (0,006)	0,073 (0,002)
VL	0,097 (0,010)	0,087 (0,004)	0,087 (0,005)	0,106 (0,010)	0,088 (0,004)
P120+VL	0,081 (0,005)	0,075 (0,004)	0,075 (0,005)	0,085 (0,003)	0,073 (0,001)
P210+VL	0,074 (0,007)	0,067 (0,005)	0,071 (0,003)	0,086 (0,008)	0,066 (0,003)
P120 +P210	0,089 (0,010)	0,067 (0,004)	0,071 (0,002)	0,097 (0,006)	0,068 (0,002)
P120+P210+VL	0,082 (0,010)	0,066 (0,003)	0,068 (0,002)	0,082 (0,011)	0,064 (0,003)
Correlación de Pearson (desviación estándar)					
	BA	LIM	TOTAL	TOTAL _{BA}	TOTAL _{LIM}
P120	0,78 (0,03)	0,73 (0,02)	0,76 (0,02)	0,76 (0,04)	0,78 (0,01)
P210	0,82 (0,01)	0,84 (0,02)	0,82 (0,01)	0,82 (0,02)	0,83 (0,01)
VL	0,75 (0,05)	0,68 (0,03)	0,74 (0,02)	0,73 (0,04)	0,74 (0,03)
P120+VL	0,86 (0,03)	0,80 (0,02)	0,81 (0,02)	0,81 (0,04)	0,80 (0,03)
P210+VL	0,86 (0,04)	0,85 (0,02)	0,86 (0,01)	0,87 (0,04)	0,84 (0,02)
P120 +P210	0,81 (0,04)	0,84 (0,01)	0,84 (0,01)	0,83 (0,02)	0,83 (0,01)
P120+P210+VL	0,85 (0,04)	0,83 (0,02)	0,86 (0,01)	0,88 (0,02)	0,85 (0,02)

¹Raíz cuadrada del cuadrado medio del error entre valores predichos y reales.

Las predicciones mejoraron al incluir las valoraciones lineales junto al peso a los 120 días o el peso a los 210 días. La correlación obtenida en Blonda de Aquitania aumentó entre 0,04 y 0,08, en Limusina aumentó entre 0,01 y 0,07 y en la población total, entre 0,04 y 0,05 al incluir las valoraciones lineales. La utilización de la información de ambas poblaciones en conjunto para determinar los caracteres a incluir en el modelo obtuvo valores similares, considerando la variación entre las iteraciones de la validación cruzada. Para la población total, los resultados fueron similares en los modelos que combinaron el peso a los 210 días y las valoraciones lineales y los que combinaron las dos pesadas y las valoraciones lineales.

La utilización de las valoraciones lineales o el peso a los 120 días como un único predictor obtuvieron las peores predicciones, con una correlación entre los valores reales y predichos de entre

0,68 y 0,78 y un error entre 0,077 y 0,108. Siendo el mejor predictor individual el peso a los 210 días y en todos los casos las mejores predicciones fueron una combinación de un peso vivo y las valoraciones lineales.

6.3.3.2 Predicción de la clasificación de la canal

La Tabla 6.3.8 muestra las ecuaciones de predicción de la clasificación de la canal utilizando como predictores el peso a los 120 días, el peso a los 210 días y las valoraciones lineales o la combinación de estos y que fueron diseñadas a partir de la información de la raza Limusina, Blonda de Aquitania y uniendo la información de las dos razas en la población total.

La Tabla 6.3.9 muestra el ajuste de cada uno de los modelos desarrollados (coeficiente de determinación). La Tabla 6.3.10 muestra la media del error y del coeficiente de correlación de las 10 iteraciones de la validación cruzada.

En general, las ecuaciones de predicción de la clasificación explicaron un bajo porcentaje de la varianza entre un 3% y un 25%. La utilización de las pesadas en vivo como únicos predictores fueron los modelos que explicaron el menor porcentaje de varianza (3%-13%) excepto el modelo que utilizaba el peso a los 210 días en la población total que explicó el 19% de la varianza. Sin embargo el modelo que solo utilizó el peso a los 210 días en la población total aplicado en cada una de las poblaciones por separado solo explicó el 3% y el 11% de la varianza. Este descenso del coeficiente de determinación al utilizar el modelo en cada una de las razas por separado se debió posiblemente a que fue el efecto de la raza incluido cuando se combina información de ambas razas la causa de la mejor predicción. Los modelos que solo utilizaron las valoraciones lineales explicaron del 16% al 20% de la variación dependiendo de la población considerada. La combinación de las valoraciones lineales y el peso a los 210 días obtuvo el mejor ajuste mejorando en todos los casos las predicciones obtenidas por los modelos que utilizaban individualmente el peso a los 210 días o las valoraciones lineales.

Utilizando la información de Blonda de Aquitania el mejor ajuste se obtuvo con el modelo que combinó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales de anchura de pecho, longitud de pelvis, grosor de cañas, redondez de nalga y nota de engrasamiento. El modelo que obtuvo el mejor ajuste utilizando la información de la raza Limusina combinó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales de anchuras de cruz, dorso, nalga y trocánteres, longitudes de dorso y pelvis, desarrollo y grosor de las cañas. Al unificar la información de ambas poblaciones, el mejor ajuste se obtuvo con el modelo que incluyó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales, se incluyeron las mismas valoraciones lineales que en el modelo Limusina menos la longitud de dorso y se incluyó la redondez de nalga.

Tabla 6.3.8. Modelos de predicción de la clasificación de la canal utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania, Limusina y la Población total.

	Intercepto	Sexo ¹	Situación ²	Raza ³	P120	P210	AC	AD	AP	AT	AA	AN	LD	LP	LN	DS	PP	GC	EL	RN	RD	NT
Blonda de Aquitania																						
P120	9,449	-0,462			0,001																	
P210	9,119	-0,248				0,002																
VL	7,590	-0,728							0,361			0,139		-0,199				0,255		-0,192		-0,139
P120+VL	7,270	-0,668							0,269							-0,185		0,487		-0,154		-0,154
P210+VL	7,028	-0,813							0,283					-0,138				0,448		-0,146		-0,133
P120 +P210	8,796	-0,396				0,003																
P120+P210+VL	7,459	-0,676							0,235					-0,126				0,423		-0,135		-0,150
Limusina																						
P120	7,844	-0,830			0,006																	
P210	7,070	-0,738				0,0062																
VL	6,910	-0,830	-0,112 -0,390				-0,122	0,119		0,098		0,244				-0,063		0,077		-0,041	0,037	
P120+VL	6,521	-0,777	-0,076 -0,379		0,004		-0,150	0,135		0,119		0,234				-0,104		0,080		-0,051	0,041	
P210+VL	6,337	-0,682	-0,143 -0,392			0,038	-0,179	0,123		0,157		0,231	0,083	-0,096		-0,113		0,071				
P120 +P210	6,406	-0,619			-0,006	0,009																
P120+P210+VL	6,338	-0,656	-0,174 -0,404		-0,004	0,006	-0,183	0,119		0,158		0,226	0,085	-0,083		-0,125		0,081				
Total																						
P120	7,104	-0,725		0,974	0,004																	
P210	7,053	-0,496		1,106		0,004																
VL	7,107	-0,856	-0,088 0,316	0,637			0,101	0,130	0,068	0,062		0,237		-0,056		-0,046		0,122		-0,095		-0,040
P120+VL	6,661	-0,790	-0,073 -0,367	0,515	0,003		-0,102	0,109		0,068		0,203				-0,124		0,157		-0,079	0,044	
P210+VL	6,550	-0,742	-0,134 0,344	0,419		0,003	-0,131	0,111		0,086		0,197		-0,086		-0,053		0,172		-0,072		
P120 +P210	7,260	-0,619		0,857	-0,008	0,006																
P120+P210+VL	5,686	-0,697	-0,155 0,349	0,366	-0,003	0,005	-0,141	0,106		0,106		0,191	0,082	-0,100		-0,111		0,150		-0,051		

¹Sexo: efecto del sexo en caso de hembras se estableció el valor del macho como referencia.

²Situación: coeficiente a incluir según la situación del ternero: 0: antes del destete, 1: al destete y 2 después del destete. Se estableció el valor 1 al destete como referencia.

³Raza: coeficiente a incluir según la raza, se estableció la raza Limusina como referencia.

AC: anchura cruz; AD: anchura de dorso; AP: anchura pecho; AT: anchura trocánteres AA: anchura ancas; AN: anchura nalga; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; LN: longitud nalga; DS: desarrollo; PP: profundidad pecho; GC: grosor cañas; EL: espesor lomo; RN: redondez nalga; RD: rectitud dorso; NT: nota de engrasamiento.

Tabla 6.3.9. Coeficiente de determinación de cada uno de los modelos finales de predicción del carácter clasificación de la canal utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la Población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado (TOTAL_{BA} y TOTAL_{LIM}).

Coeficiente de determinación					
	BA	LIM	TOTAL	TOTAL_{BA}	TOTAL_{LIM}
P120	0,07	0,09	0,13	0,03	0,08
P210	0,03	0,11	0,19	0,03	0,11
VL	0,20	0,16	0,18	0,20	0,16
P120+VL	0,19	0,16	0,17	0,17	0,15
P210+VL	0,25	0,17	0,20	0,22	0,17
P120 +P210	0,04	0,11	0,15	0,03	0,11
P120+P210+VL	0,18	0,17	0,18	0,15	0,17

El modelo que obtuvo menores errores en Blonda de Aquitania combinó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales, en Limusina se obtuvieron errores similares en todos los modelos que incluyeron las valoraciones lineales (Tabla 6.3.10). Al unificar la información de ambas razas se cometió el menor error en el modelo que utilizó las dos pesadas y las valoraciones lineales. Los modelos que incluyeron las valoraciones lineales obtuvieron en general un menor error en la predicción, excepto en el caso del modelo que utilizó el peso a los 210 días en Limusina lo que se puede deber a la alta variabilidad entre las iteraciones de la validación cruzada.

Las correlaciones más altas entre los valores predichos y reales se obtuvieron en Limusina con el modelo que utilizó las valoraciones lineales (0,53), en Blonda de Aquitania utilizando el modelo que utilizó el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (0,42), y en la población total con el modelo que utilizó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (0,45). Los modelos que incluyeron las valoraciones lineales obtuvieron correlaciones similares (0,36-0,53) siendo mayores que los modelos que solo utilizaron pesadas en vivo como predictores.

La utilización de los mismos caracteres para toda la población incrementó las correlaciones obtenidas (excepto en el modelo que utilizaba solo las valoraciones lineales en Limusina) y obtuvo valores similares de error. La utilización del modelo desarrollado en la población total en ambas

poblaciones por separado tuvo valores similares de error y obtuvo correlaciones similares o mayores, considerando la variabilidad existente entre las iteraciones.

Tabla 6.3.10. Media del error y del coeficiente de correlación de Pearson (desviación estándar) de las 10 iteraciones de la validación cruzada, utilizando el peso a los 120 días (P120), el peso a los 120 días (P210), las valoraciones lineales (VL), el peso a los 120 días y las valoraciones lineales (P120+VL), el peso a los 210 días y las valoraciones lineales (P210+VL), los pesos a los 120 y 210 días (P120+P210) y los pesos a los 120 y 210 días y las valoraciones lineales (P120+P210+VL) para la población de Blonda de Aquitania (BA), Limusina (LIM) y la Población total (TOTAL) y utilizando el modelo estimado con la población total para cada una de las poblaciones por separado (TOTAL_{BA} y TOTAL_{LIM}).

Error (desviación estándar)¹					
	BA	LIM	TOTAL	TOTAL_{BA}	TOTAL_{LIM}
P120	1,48 (0,10)	1,39 (0,06)	1,49 (0,05)	1,67 (0,06)	1,43 (0,06)
P210	1,36 (0,10)	1,39 (0,04)	1,48 (0,04)	1,48 (0,08)	1,41 (0,03)
VL	1,56 (0,10)	1,31 (0,04)	1,38 (0,04)	1,56 (0,11)	1,32 (0,06)
P120+VL	1,53 (0,14)	1,31 (0,04)	1,35 (0,04)	1,48 (0,16)	1,31 (0,03)
P210+VL	1,30 (0,06)	1,49 (0,15)	1,34 (0,06)	1,49 (0,16)	1,30 (0,06)
P120 +P210	1,53 (0,15)	1,38 (0,05)	1,40 (0,05)	1,64 (0,15)	1,37 (0,06)
P120+P210+VL	1,52 (0,21)	1,31 (0,10)	1,30 (0,07)	1,58 (0,11)	1,26 (0,09)
Coeficiente de correlación de Pearson (desviación estándar)					
	BA	LIM	TOTAL	TOTAL_{BA}	TOTAL_{LIM}
P120	0,18 (0,04)	0,32 (0,04)	0,25 (0,05)	0,18 (0,09)	0,28 (0,05)
P210	0,13 (0,05)	0,30 (0,04)	0,26 (0,03)	0,12 (0,03)	0,33 (0,05)
VL	0,39 (0,11)	0,53 (0,03)	0,42 (0,04)	0,44 (0,06)	0,37 (0,06)
P120+VL	0,42 (0,11)	0,40 (0,05)	0,43 (0,04)	0,43 (0,09)	0,41 (0,04)
P210+VL	0,35 (0,04)	0,41 (0,09)	0,45 (0,06)	0,44 (0,14)	0,43 (0,05)
P120 +P210	0,16 (0,10)	0,35 (0,05)	0,32 (0,04)	0,20 (0,12)	0,32 (0,04)
P120+P210+VL	0,36 (0,12)	0,41 (0,05)	0,44 (0,06)	0,38 (0,13)	0,42 (0,06)

¹Raíz cuadrada del cuadrado medio del error entre valores predichos y reales.

6.4 Índices de selección e inclusión de la reducción de las emisiones de metano y estrategias para su mitigación.

6.4.1 Índices de reposición y terminal

6.4.1.1 Importancia económica de los caracteres en los índices

La Tabla 6.4.1 muestra los pesos económicos de los caracteres incluidos en el índice de reposición y en el índice terminal. Los caracteres incluidos en el índice de reposición fueron: edad al primer parto, intervalo entre partos, efectos materno de la facilidad de parto, efecto materno del peso al destete, peso adulto, peso canal de desecho, clasificación canal de desecho, efecto directo del peso al destete, efecto directo de la facilidad de parto, crecimiento canal y clasificación de la canal. En el índice terminal solo se incluyeron los caracteres de efecto directo del peso al destete, efecto directo de la facilidad de parto, crecimiento canal y clasificación de la canal.

Tabla 6.4.1. Varianza aditiva (σ_a^2), pesos económicos expresado en euros/ternero comercializado/año por unidad de desviación genética (€/TC/año/ σ_a) de los caracteres funcionales y de producción para el índice de reposición y terminal.

Caracteres funcionales	σ_a^2	Reposición	Terminal
		€/TC/año/ σ_a	€/TC/año/ σ_a
Peso adulto ¹	2.550,00	-25,2	
Edad al primer parto	1.249,79	-12,1	
Intervalo entre partos	0,83	-10,9	
Facilidad de parto materna ²	8.322,44	-6,5	
Peso al destete materno	61,27	2,4	
Clasificación canal vaca de desecho	0,21	2,9	
Peso canal vaca de desecho	82,91	4,8	
Caracteres de producción			
Facilidad de parto directa ⁴	0,63	-12,6	-12,6
Peso al destete directo	201,55	3,0	3,0
Clasificación canal	0,40	12,3	12,3
Crecimiento canal	2.837,00	41,7	41,7

¹Varianza genética aditiva estimada a partir del peso canal de desecho.

En la Figura 6.4.1 se muestra el porcentaje de importancia de los caracteres en el índice de reposición. En el índice de reposición el 52% de importancia corresponde a caracteres de producción (caracteres de canal, peso al destete directo y facilidad de parto directa) y el 48% corresponde a caracteres funcionales (facilidad de parto materna, fertilidad, precocidad, consumo y valor de desecho). El carácter de mayor importancia económica fue el crecimiento canal, con el 31% del índice, debido a su incidencia positiva en los ingresos por venta de terneros y a su alta heredabilidad. En segundo lugar el carácter de mayor importancia fue el peso adulto, con una repercusión negativa, debido a que su aumento incrementaría las necesidades energéticas de novillas, nodrizas y desecho,

aumentando los costes de producción. La edad al primer parto, la clasificación de la canal del ternero y la facilidad de parto directa serían los siguientes en importancia con alrededor del 9%.

PA: peso adulto; EPP: edad al primer parto; IPP: intervalo entre partos; FPM: facilidad de parto materna; PDM: peso al destete materno; CCVD: clasificación canal vaca de desecho; PCVD: peso canal vaca de desecho; FPD: facilidad de parto directa; PDD: peso al destete directo; CC: clasificación canal; CG: crecimiento canal.

Figura 6.4.1. Porcentaje de importancia de los caracteres incluidos en el índice de reposición.

El carácter de mayor importancia en el índice terminal fue el crecimiento canal (Figura 6.4.2), debido a que su mejora supondría un incremento del peso canal y por tanto de los kg de carne comercializados, aumentando los ingresos a percibir. Se ha de tener en cuenta que se consideró también el aumento de las necesidades energéticas de crecimiento de los animales con mayor crecimiento canal. En segundo lugar, la facilidad de parto directa, debido al impacto de esta en la mortalidad y, por tanto, a la reducción del número de terneros comercializados. La clasificación de la canal supuso el 17,6% del índice, debido a que su mejora incrementaría el precio percibido por kg de canal comercializado. Por último, el peso al destete tendría una menor importancia porque solo se consideró el efecto en la reducción del coste de cebo, considerando el aumento de ingresos en el carácter crecimiento canal.

FPD: facilidad de parto directa; PDD: peso al destete directo; CC: clasificación canal; CG: crecimiento canal.

Figura 6.4.2. Porcentaje de importancia de los caracteres incluidos en el índice terminal.

6.4.1.2 Respuesta a la selección de los caracteres para el índice de reposición y el índice terminal

La Tabla 6.4.2 muestra la respuesta a la selección esperada para cada uno de los caracteres en el índice de reposición y en el terminal en unidad de cada carácter y su repercusión económica (€/ternero comercializado/año).

Tabla 6.4.2. Respuesta a la selección de los caracteres incluidos en el índice de reposición y el índice terminal expresado en la unidad del carácter y en euros/ternero comercializado/año (€/TC/año).

	Índice de reposición		Índice terminal	
	Ud. del carácter	€/TC/año	Ud. del carácter	€/TC/año
Caracteres funcionales				
Peso adulto (kg)	6,75	-3,37	19,41	-
Peso canal vaca desecho (kg)	4,68	0,66	13,50	-
Clasificación canal vaca de desecho (1-15)	0,12	0,38	0,13	-
Edad al primer parto (d)	-12,03	1,56	-1,10	-
Intervalo entre partos (d)	-2,73	3,79	-2,00	-
Facilidad de parto materna (1-4)	0,00	-0,06	0,02	-
Peso al destete materno (kg)	-3,88	-0,78	-6,35	-
Caracteres de producción				
Facilidad de parto directa (1-4)	0,04	-0,59	0,04	-0,54
Peso al destete directo (kg)	4,16	0,83	7,64	1,53
Clasificación canal (1-15)	0,38	7,47	0,37	7,20
Crecimiento canal diario (g/d)	75,58	58,95	79,40	61,93
Margen (€/TC/año)		68,84		70,12

Con la aplicación del índice de reposición se espera una mejora económica de 68,84€, debido en gran parte, a una mejora de los caracteres de producción en 66,7€, por un aumento del crecimiento canal diario y una mejora de la clasificación de la canal. Los caracteres funcionales obtendrían una respuesta económica de 2,2€, con una reducción de los periodos improductivos pero con un aumento del peso adulto, lo que supondría un incremento de los costes y una pérdida en el margen. En general, con la aplicación de este índice se espera animales de mayor crecimiento y tamaño, con menores periodos improductivos y una ligera mejora de la facilidad de parto.

El índice terminal está enfocado a mejorar los caracteres relacionados con la canal y el peso al destete directo, considerando la mejora de la facilidad de parto. Al aplicar el índice terminal se espera una mayor respuesta en el carácter crecimiento que en el índice de reposición (+3,8g/d). Además se espera una mayor respuesta en la clasificación de la canal y el peso al destete directo, con un deterioro

de la facilidad de parto. El índice terminal está diseñado para seleccionar animales con destino a sacrificio, si se utilizase para animales de reposición, se espera un deterioro de los caracteres funcionales con un aumento del peso adulto de 12,6 kg más que lo que se esperaría en el índice de reposición y aumento de los periodos improductivos de las nodrizas.

6.4.2 Inclusión de las emisiones de CH₄ en el objetivo de selección

Con objeto de incluir las emisiones en el índice de reposición se estimaron las emisiones de manera indirecta, se realizó una valoración genética del carácter emisiones y se incluyó en el índice de reposición.

6.4.2.1 Estimación de las emisiones de CH₄

La Tabla 6.4.3 muestra la media de la energía bruta consumida (MJ/ternero comercializado/año), y la producción de kg de CH₄ procedente de fermentación entérica y de estiércol para novilla, nodriza y desecho (M_v), y el ternero (M_c) expresados en kg de CH₄/ternero comercializado/año.

Tabla 6.4.3. Energía bruta (EB) expresada en MJ por ternero comercializado y año (MJ/TC/año), kg de CH₄ por ternero comercializado y año procedente de fermentación entérica (M_e) y de estiércol (M_m) y porcentaje del total de CH₄ producido por el ternero en su etapa de cebo (M_c) y la nodriza durante su etapa de novilla, vaca adulta y desecho (M_v).

		EB (MJ/TC/año)	Me (kg CH ₄ /TC/año)	Mm (kg CH ₄ /TC/año)	% de CH ₄ total
Emisiones ternero (M _c)	Ternero	46.405,03	42,32	4,99	31%
Emisiones vacas (M _v)	Novilla ¹	11.750,25	10,71	1,48	8%
	Nodriza ²	83.826,31	76,45	10,57	58%
	Desecho ³	3.681,68	3,36	0,46	3%
Total		145.663,27	132,84	17,50	100%

¹Novilla: hembra desde destete hasta primer parto.

²Nodriza: desde el primer parto hasta la decisión de desecho.

³Desecho: hembra desde decisión de desecho hasta sacrificio.

Las emisiones procedentes de novilla, nodriza y desecho fueron la principal fuente de producción de CH₄ suponiendo el 69% del total de emisiones de CH₄. El período nodriza (desde el primer parto hasta la edad de desecho) supone el 58% del total de las emisiones seguido del ternero en cebo, responsable del 31% de las emisiones. La etapa de novilla y de cebo de vacas de desecho supone el 11% restante. Del total de las emisiones, el 88% procedió de fermentación entérica, y el 12% de manejo del estiércol.

La Figura 6.4.3 muestra la distribución de estimaciones para las vacas y terneros de la población expresada en kg de CH₄ por ternero comercializado y año. La producción de las vacas (incluyendo etapa de novilla, nodriza y vaca de desecho) se estimó entre 63 y 133 kg de CH₄, con una diferencia entre las nodrizas menos y más contaminantes de 70 kg. Esta variación se debió a diferencias en su peso vivo, su fertilidad, su precocidad y su producción, con una producción media de 150 kg de CH₄ por ternero comercializado y año. La producción de los terneros en cebo se estimó en 47 kg de CH₄ por ternero comercializado y año como media, con una diferencia de 28 kg de CH₄ entre los terneros más y menos contaminantes. Las diferencias en la producción de CH₄ en cebo se debieron fundamentalmente al crecimiento y el peso al destete de los terneros.

Figura 6.4.3. Distribución de las emisiones de CH₄ producidos por ternero y por vacas expresados en kg de CH₄/ternero comercializado/año.

6.4.2.2 Parámetros genéticos entre las emisiones de CH₄ y los demás caracteres

La Tabla 6.4.4 muestra las heredabilidades y las correlaciones genéticas de cada uno de los caracteres con emisiones de CH₄. La heredabilidad estimada de las emisiones de CH₄ fue mayor para el ternero en cebo (0,42) que para la vaca (0,19). En general, los caracteres funcionales tuvieron una menor heredabilidad (0,01-0,24) que los caracteres de producción (0,15-0,32). Las emisiones del ternero en cebo mostraron una alta correlación con el crecimiento canal diario, seguido del peso al

destete y el peso canal de desecho. Por otro lado, se estimó una correlación positiva de las emisiones de nodriza con el intervalo entre partos, la edad al primer parto y el peso al destete.

La tendencia general sugiere que se obtendría una mayor producción de CH₄ de terneros en cebo cuando seleccionamos en base a los caracteres de producción (crecimiento canal y clasificación). Esto se debe a que los animales con un mayor crecimiento tienen unas mayores necesidades energéticas, consumen mayor cantidad de alimento y, por tanto, emiten más CH₄. Por el contrario, la reducción de los períodos improductivos están asociados a una disminución de las emisiones por ternero comercializado, procedentes de las novillas y vacas adultas. Esto se debe a que las vacas que tienen su primer parto más tardío y/o tienen intervalos entre partos más largos emiten más CH₄ por ternero producido, porque necesitan un mayor periodo para producir el ternero.

Tabla 6.4.4. Varianza genética aditiva (σ^2_a), heredabilidad (h^2) y correlaciones genéticas con la producción de CH₄ del ternero en cebo (M_c) y de la nodriza (M_v) de los caracteres funcionales y de producción.

Carácter	σ^2_a	h^2	M_c	M_v
Caracteres funcionales				
Peso adulto ¹	2.550,00	-	-	-
Peso canal vaca desecho	1.249,79	0,15 ± 0,07	0,68 ± 0,11	0,18 ± 0,32
Clasificación canal vaca de desecho	0,83	0,19 ± 0,05	0,29 ± 0,15	0,15 ± 0,18
Edad al primer parto	8.322,44	0,29 ± 0,09	-0,12 ± 0,06	0,36 ± 0,06
Intervalo entre partos	61,27	0,01 ± 0,00	-0,19 ± 0,15	0,62 ± 0,32
Facilidad de parto materna	0,21	0,09 ± 0,02	0,00 ± 0,10	0,01 ± 0,18
Peso al destete materno	82,91	0,11 ± 0,02	0,04 ± 0,07	-0,14 ± 0,23
Caracteres de producción				
Facilidad de parto directa	0,63	0,27 ± 0,04	0,25 ± 0,18	0,05 ± 0,10
Peso al destete directo	201,55	0,15 ± 0,01	0,60 ± 0,05	0,32 ± 0,24
Clasificación canal	0,40	0,29 ± 0,04	0,38 ± 0,07	0,02 ± 0,09
Crecimiento canal diario	2.837,00	0,32 ± 0,04	0,98 ± 0,00	0,12 ± 0,10
Caracteres CH₄				
Kg de CH ₄ ternero (kg CH ₄ /TC/año)	9,12	0,42 ± 0,03	-	0,28 ± 0,14
Kg de CH ₄ vaca (kg CH ₄ /TC/año)	71,37	0,19 ± 0,04	0,28 ± 0,14	-

¹Varianza genética aditiva estimada a partir del peso canal de desecho.

6.4.2.3 Pesos económicos de los caracteres incluidos para los tres escenarios

Los pesos económicos expresados en €/ternero comercializado/año por unidad de desviación genética y como porcentaje de importancia económica en el índice de reposición se exponen en la

Tabla 6.4.5. Para la comparación llamaremos Escenario 1 al índice de reposición, Escenario 2 a la imposición de la tasa de carbono y Escenario 3 al escenario de cuota.

En el Escenario 1 (no incluyendo las emisiones de CH₄), los caracteres funcionales y de producción representaron el 48% y 52% del índice, respectivamente. La inclusión de la tasa de carbono (Escenario 2) incrementó la importancia económica de los caracteres funcionales (49,2%) y los caracteres de CH₄ fueron incluidos en el índice con un 4,6% de importancia. Por el contrario, el establecimiento de la cuota de emisiones por explotación produjo una disminución de la importancia de los caracteres funcionales a 45,8% y de los caracteres de CH₄ a un 1,8%, dando más importancia a los caracteres de producción. En todos los escenarios los caracteres más importantes fueron el crecimiento canal y el peso adulto con signos opuestos (crecimiento canal positivo y peso adulto negativo).

Tabla 6.4.5. Pesos económicos expresado en euros/ternero comercializado/año por unidad de desviación genética (€/TC/año/ σ_a) de los caracteres funcionales, de producción y de metano incluidos en el índice para el Escenario 1 (índice de reposición), el Escenario 2 (tasa de carbono) y el Escenario 3 (cuota de emisiones por explotación).

	Peso económico					
	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
Caracteres funcionales	€/TC/año/ σ_a	%	€/TC/año/ σ_a	%	€/TC/año/ σ_a	%
Peso adulto	-25,15	18,7	-29,29	19,6	-23,73	18,1
Edad al primer parto	-12,13	9,0	-14,6	9,8	-11,4	8,7
Intervalo entre partos	-10,85	8,1	-12,52	8,4	-10,25	7,9
Facilidad de parto materna	-6,49	4,8	-7,48	5	-6,15	4,7
Peso al destete materno	2,37	1,4	2,81	1,9	1,38	1,1
Clasificación canal vaca de desecho	2,88	2,1	2,88	1,9	2,88	2,2
Peso canal vaca de desecho	4,77	3,6	3,89	2,6	3,99	3,1
Caracteres de producción						
Facilidad de parto directa	-12,58	9,4	-14,51	9,7	-11,93	9,1
Peso al destete	3,02	2,3	3,59	2,4	1,77	1,3
Clasificación canal	12,27	9,1	12,27	8,2	12,27	9,4
Crecimiento canal	41,65	31	38,51	25,8	42,69	32,6
Caracteres CH₄						
Emisiones ternero	0	0	-3,06	2,1	-1,03	0,8
Emisiones vaca	0	0	-3,80	2,5	-1,35	1,0

El mayor peso económico expresado en €/ternero comercializado/año por unidad de desviación genética fue para el carácter crecimiento canal, con un valor de 38,5€ a 42,7 €/ternero comercializado/año, dependiendo del escenario, asociado a unos ingresos mayores. El segundo

carácter en importancia fue el peso adulto con peso económico de -23,73€ a -29,29€/ternero comercializado/año debido a un aumento de las necesidades energéticas de nodrizas, novillas y desecho. Los caracteres con menor importancia en los índices fueron el peso al destete, ya que solo se consideró su influencia en la reducción del coste de cebo, y los caracteres asociados al desecho con una importancia económica menor.

Los pesos económicos de los caracteres de producción disminuyeron en el Escenario 2 (Figura 6.4.4), con una reducción del peso económico del crecimiento canal diario del 5,2% (-3,14€/ternero comercializado/año/ σ) respecto al Escenario 1, debido a la relación entre el crecimiento y las emisiones del ternero en cebo. Los caracteres funcionales tuvieron mayores pesos económicos debido a que mayores periodos improductivos están asociados con unas mayores emisiones por ternero comercializado. El peso adulto está directamente relacionado con el consumo (energía bruta) y por tanto con las emisiones de la vaca. Como resultado, la edad al primer parto, el intervalo entre partos y peso adulto incrementan su importancia económica en 0,7%, 0,3% y 0,9%, respectivamente, respecto al Escenario 1. Una edad al primer parto mayor causaría un incremento del ratio novillas de reposición/ternero comercializado y un mayor intervalo entre partos incrementaría el ratio nodrizas/ternero comercializado.

PA: peso adulto; EPP: edad al primer parto; IPP: intervalo entre partos; FPM: facilidad de parto materna; PDM: peso al destete materno; CCVD: clasificación canal vaca de desecho; PCVD: peso canal vaca de desecho; FPD: facilidad de parto directa; PDD: peso al destete directo; CC: clasificación canal; CG: crecimiento canal; MC: emisiones del ternero en cebo; MV: emisiones de la vaca.

Figura 6.4.4. Porcentaje de importancia de los caracteres en el índice para el Escenario 2.

En el Escenario 3, el establecimiento de una cuota de emisiones por explotación significaría que el número de animales por explotación sería variable para alcanzar un nivel fijo de producción de CH₄ por explotación. En esta situación los caracteres funcionales perdieron importancia y los caracteres de producción incrementaron su importancia en el índice (Figura 6.4.5). El peso adulto, edad al primer parto e intervalo entre partos disminuyeron sus pesos económicos en 0,6%, 0,3% y 0,2%, respectivamente, y el crecimiento canal diario aumentó en 1,6%. Esto significó un incremento de los ingresos a expensas de unos mayores costes de producción y unos menores pesos económicos para los caracteres de CH₄.

PA: peso adulto; EPP: edad al primer parto; IPP: intervalo entre partos; FPM: facilidad de parto materna; PDM: peso al destete materno; CCVD: clasificación canal vaca de desecho; PCVD: peso canal vaca de desecho; FPD: facilidad de parto directa; PDD: peso al destete directo; CC: clasificación canal; CG: crecimiento canal; MC: emisiones del ternero en cebo; MV: emisiones de la vaca.

Figura 6.4.5. Porcentaje de importancia de los caracteres en el índice para el Escenario 3.

Comparando los Escenarios 2 y 3, la tasa de carbono pondría un mayor énfasis en la reducción de las emisiones y los costes de producción. El establecimiento de una cuota de emisiones por explotación pondría un mayor énfasis en incrementar los ingresos asociados a los caracteres de producción y posiblemente a animales más rentables a expensas de una menor importancia de las emisiones.

6.4.2.4 Respuesta a la selección para los tres escenarios

La respuesta a la selección obtenida de acuerdo a los índices desarrollados para cada Escenario se expone en la Tabla 6.4.6, en unidad de cada carácter y en €/ternero comercializado/año. El impacto económico total de cada Escenario se muestra en el carácter margen, expresado en €/ternero comercializado/año.

Tabla 6.4.6. Respuesta a la selección expresada en unidad del carácter (entre paréntesis) y en €/ternero comercializado/año (€/TC/año) en el Escenario 1 (no incluyendo las emisiones de CH₄) en el Escenario 2 (tasa de carbono) y en el Escenario 3 (cuota de emisiones por explotación) para cada uno de los caracteres incluidos en el índice y en el margen por ternero comercializado.

Carácter	Respuesta genética					
	Índice de reposición		Escenario 2		Escenario 3	
Caracteres funcionales	Unidad del carácter	€/TC/año	Unidad del carácter	€/TC/año	Unidad del carácter	€/TC/año
Peso adulto (kg)	6,75	-3,37	-0,48	0,28	6,27	-2,95
Edad al primer parto (día)	-12,03	1,56	-13,76	2,20	-12,80	1,66
Intervalo entre partos (día)	-2,73	3,79	-3,00	4,80	-2,76	3,61
Facilidad de parto materna (1-4)	0,00	-0,06	0,00	-0,07	0,00	-0,06
Peso canal vaca desecho (kg)	4,68	0,66	0,34	-0,04	4,36	0,48
Clasificación canal vaca de desecho (1-15)	0,12	0,38	0,13	0,48	0,14	0,39
Peso al destete materno (kg)	-3,88	-0,78	-3,24	-0,78	-4,10	-0,49
Caracteres de producción						
Facilidad de parto directa (1-4)	0,04	-0,59	0,04	-0,65	0,04	-0,56
Peso al destete directo (kg)	4,16	0,83	2,08	0,50	3,84	0,46
Clasificación canal (1-15)	0,38	7,47	0,39	7,58	0,38	7,43
Crecimiento canal diario (g/día)	75,58	58,95	69,82	50,48	75,30	60,39
Caracteres CH₄						
Kg de CH ₄ ternero (kg CH ₄ /TC/año) ¹	2,91	0	2,32	-2,34	2,81	-0,95
Kg de CH ₄ vaca (kg CH ₄ /TC/año)	-0,30	0	-1,18	0,53	-0,42	0,07
Margen (€/TC/año)		68,84		62,97		69,48
Margen (€/TC/año)²		68,84		64,78		70,36

¹ TC: ternero comercializado.

² Margen por ternero comercializado y año sin considerar el impacto económico de las emisiones.

En el Escenario 1, los caracteres de producción tenderían a mejorar, mostrando un impacto económico positivo en el margen (67,09€/ternero comercializado/año), suponiendo el 97% de la respuesta económica esperada. La respuesta esperada en las emisiones de CH₄ fue de 2,30 kg/ternero comercializado/año, causado por un incremento de la producción de CH₄ de ternero debido a una selección por crecimiento.

La inclusión de la tasa de carbono mejoró la respuesta esperada en los caracteres funcionales implicando una reducción del peso adulto y una mayor reducción del intervalo entre partos y la edad al primer parto respecto al Escenario 1. La respuesta económica de los caracteres funcionales fue de 6,87€/ternero comercializado/año, suponiendo el 11% de la respuesta económica esperada, omitiendo el impacto económico del CH₄, 64,8€/ternero comercializado/año. Por tanto los caracteres de producción disminuyeron su respuesta a 57,9€/ternero comercializado/año, un 13,2% menos que en el Escenario 1, causado principalmente por una menor respuesta del crecimiento canal. La respuesta en kg de CH₄ esperados sería de 1,14 kg CH₄/ternero comercializado/año, reduciendo las emisiones respecto al Escenario 1 en un 56%.

El establecimiento de la cuota por explotación produciría respuestas similares al Escenario 1 en todos los caracteres, con una ligera reducción del peso adulto y el crecimiento canal diario, lo que implicaría un ligero incremento del margen (1,52€/ternero comercializado/año). Se espera una respuesta a la selección de 2,39 kg de CH₄, implicando una reducción de un 8,5% respecto al Escenario 1, debido a una reducción de las emisiones de nodrizas y ternero en cebo.

Comparando las respuestas esperadas bajo los Escenarios 2 y 3, la inclusión de las emisiones de CH₄ en el objetivo de selección implicaría un diferente criterio de selección para cada uno de ellos, poniendo más énfasis en los caracteres funcionales en el Escenario 2 y en los caracteres de producción en el Escenario 3.

Se espera que las emisiones de CH₄ por vaca o ternero en cebo aumenten en los tres escenarios propuestos. La imposición de la tasa de carbono y el establecimiento de la cuota por explotación reduciría las emisiones respecto al Escenario 1, pero el Escenario 3 implicaría una reducción del número de animales por explotación, no aumentando la emisión total por explotación. El Escenario 2 implicaría una pérdida de rentabilidad y por tanto un impacto negativo en la rentabilidad de la explotación. Se obtendría según estos resultados una respuesta opuesta entre emisiones y rentabilidad.

7 DISCUSIÓN

7.1 Función de beneficio y estimación de pesos económicos

La función de beneficio desarrollada proporciona resultados que permiten la comparación económica para cada una de las tres fases del sistema de producción, expresando los resultados en euros por ternero comercializado y año. Otros estudios expresaron el beneficio por explotación y año o por vaca nodriza y año (Phocas *et al.*, 1998; Albera *et al.*, 2004) o en ambas unidades (Kluyts *et al.*, 2003). Brascamp (1985) demostró que el peso económico relativo de los caracteres sería el mismo considerando diferentes unidades de medida. El objetivo de mostrar los resultados por ternero comercializado y año fue integrar todas las fases del sistema de producción y optimizar los costes de producción y cebo y los ingresos mediante la comparación de diferentes situaciones a nivel de explotación. Wolfová *et al.* (2005a y 2005b) utilizaron la función de beneficio como una herramienta de optimización de las decisiones de manejo y comercialización.

Como aplicación de la función de beneficio, se utilizó la información de dos explotaciones, con las que se realizó el primer diseño de la función de beneficio. En los Apartados 6.2 y 6.4, se actualizó la información, gracias a la información proporcionada por CONABA, con el objetivo de aplicar esta metodología a un sistema de explotación, con toda la información disponible. Además, en Apartado 6.1 se estimó el impacto económico que tendría la reducción de los periodos improductivos, la edad al primer parto y el intervalo entre partos debido a que son dos de los caracteres cuya reducción aumenta la rentabilidad de las explotaciones. El acortamiento de los periodos improductivos repercute significativamente en la rentabilidad debido a una disminución de los costes de producción (Martin *et al.*, 1992). Esta reducción de los costes se debe al incremento del número de terneros comercializados por año, repartiéndose los costes de producción entre un mayor número de terneros. En la Explotación A y la Explotación B, la mejora de la fertilidad (intervalo entre partos) y la precocidad (edad al primer parto) dio lugar a un incremento del margen o beneficio por ternero comercializado de 178€ y 111€/ternero comercializado/año, respectivamente, debido a una disminución de los costes de producción del 30,6% y 20,4%. En este trabajo se incluyeron como costes los costes de alimentación del rebaño, debido a su importancia crítica en el beneficio de las explotaciones de vacuno de carne (Albera *et al.*, 2001), sobre todo en condiciones extensivas, donde la disponibilidad de pasto es estacional e irregular (Olea y Miguel-Ayanz, 2006; Etienne *et al.*, 2008; Gaspar *et al.*, 2009)

La función de beneficio fue desarrollada para estimar los pesos económicos que permiten la ponderación económica de los caracteres a incluir en el objetivo de selección. Ponzoni *et al.* (1989) consideraron vital la correcta definición de los objetivos de selección para la ganancia efectiva de un

programa de mejora genética. Algunos programas de mejora genética actuales (Amer *et al.*, 2001; Berry *et al.*, 2007) han priorizado esta perspectiva económica para la determinación de los objetivos de selección (De Haas *et al.*, 2013). La utilización de modelos bioeconómicos fue discutida por Nielsen *et al.* (2014) para la estimación de los pesos económicos de los caracteres a incluir en los objetivos de selección, exponiendo las posibles desventajas de la utilización de los modelos bioeconómicos. Sin embargo, varios trabajos mostraron la robustez de los programas de mejora ante posibles errores en la estimación de los pesos económicos, debido a la variación de los precios o situaciones mercado (Ronningen *et al.*, 1971; Hirooka *et al.*, 1998; Kulak *et al.*, 2003).

Unos adecuados objetivos de selección deben incluir la adaptación del animal al sistema de producción en el que ha de producir y este es el objetivo del modelo propuesto. El modelo muestra la adaptación de la nodriza, novilla y desecho y el ternero a su sistema de producción, determinando los pesos económicos de dos grupos de caracteres, caracteres funcionales y caracteres de producción. Para ello la función de beneficio tiene en cuenta el tipo de animal, a partir de la media de los caracteres, además considera el precio de la alimentación y el precio de venta del animal (precio del kg de canal). Estos tres factores varían con el tiempo de tal forma que el modelo ha de tenerlo en cuenta y adaptarse a los cambios que puedan producirse con una actualización periódica.

La adaptación o eficiencia en la producción de la nodriza se mide con los caracteres funcionales, considerando entre ellos las necesidades energéticas (peso adulto), precocidad (edad al primer parto), longevidad (número de partos, edad último parto), fertilidad (intervalo entre partos) y supervivencia/mortalidades, el peso de desecho y conformación de desecho.

En este trabajo se aborda la mejora de los caracteres edad al primer parto e intervalo entre partos, los cuales tienen una incidencia directa en la rentabilidad con una reducción de los costes de producción, debido a una menor reposición y un aumento de la productividad. La mejora de estos caracteres funcionales mostró que en los animales más adaptados, con menores periodos improductivos (Explotación A+ y B+) la importancia económica de los caracteres funcionales disminuye. La diferencia en el peso económico de estos caracteres se debe a la reducción de los costes de producción. Si el coste de producción es menor como en A+ y B+, el impacto económico de los caracteres funcionales será menor. Los pesos económicos del intervalo entre partos, edad al primer parto y peso adulto y supervivencias disminuyeron cuando se alcanzó la situación óptima (A+ y B+). El peso económico del intervalo entre partos disminuyó un 16% y 12% para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente. Los pesos económicos de la edad al primer parto disminuyeron un

46% y 36%, para la Explotación A y la Explotación B. También los pesos económicos del peso adulto y la mortalidad disminuyeron. Estos cambios muestran que al alcanzar el objetivo de fertilidad se debe focalizar en otros caracteres, perdiendo importancia los caracteres funcionales y ganando importancia los caracteres de producción.

Uno de los caracteres funcionales más importantes es el peso adulto, ya que está asociado a un incremento del tamaño de la nodriza (Amer *et al.*, 2001 y 1997) y es un indicador del consumo de la nodriza (Pravia *et al.*, 2014b) teniendo una heredabilidad alta (Bourdon y Brinks, 1987; Meyer, 1995; Boligon *et al.*, 2008). Nielsen *et al.* (2014) definieron el tamaño adulto como un carácter clave que afecta al desarrollo del animal y a su crecimiento. Este determina en crecimiento y las necesidades energéticas de las novillas y las nodrizas y vacas de desecho. Sin embargo, la obtención del carácter puede implicar un alto coste y presenta una gran variación en función de la edad, estado fisiológico y época del año (Brinks *et al.*, 1962 y Benyshek *et al.*, 1976). Por ello, el peso adulto puede ser predicho por otros caracteres, como la calificación morfológica del ternero, el peso canal de desecho o el peso vivo de los animales en diferentes edades (Apéndice 2). En este trabajo, un incremento de 1 kg de peso adulto produjo un impacto de -0,43€ y -0,38€ por ternero comercializado debido al incremento del coste de producción, para la Explotación A y la Explotación B, respectivamente.

Además, los caracteres funcionales tienen una mayor influencia económica en explotaciones de manejo extensivo debido a su impacto en la productividad. A pesar de su moderada heredabilidad (Minick Bormann y Wilson, 2010), su inclusión en los objetivos de selección debe ser considerada en los actuales programas de mejora. Åby *et al.* (2012) encontraron la necesidad de incluirlos en los objetivos de selección incluso en sistemas más intensivos. Pravia *et al.* (2014) también mostró la importancia de los caracteres reproductivos. Nuestro trabajo mostró la importancia de la edad al primer parto, el intervalo entre partos, el peso adulto y la supervivencia, especialmente en situaciones de baja fertilidad (Explotación A y Explotación B).

En cuanto a los caracteres de producción, su importancia se debe a que los animales jóvenes necesitan alcanzar un óptimo crecimiento en cebo hasta para alcanzar un mayor valor de la canal, determinado por el peso canal y la clasificación de la canal. Un incremento de 1g/d de crecimiento canal supondría 0,9€ y 1,0€/ternero comercializado más de beneficio o margen, mientras que una mejora de la clasificación de 1 punto en una escala de 1 a 15 supondría 16,39€ y 15,35€ por ternero comercializado, para la Explotación A y la Explotación B. El crecimiento canal es el carácter más representativo con un alto peso económico, este resume otros caracteres de crecimiento y está

asociado al valor de la canal (ingresos) y a su coste (coste de cebo). El crecimiento canal se mide en kg/día, relacionando el peso de la canal y la edad de sacrificio, determinando una mayor conversión desde el nacimiento hasta el sacrificio. Se necesitarán más estudios que permitan relacionar el crecimiento canal y peso al destete con el peso adulto como en Roughsedge *et al.* (2005). Con el objetivo de incluir datos de canales de animales destinados a ser futuros sementales o nodrizas (reproductores), se plantea la utilización de valoraciones en vivo de animales que permitan predecir el valor del animal al sacrificio, de tal forma que se tenga una predicción del mérito canal de los animales destinados a reposición. En esta tesis se utiliza la información tomada en torno al destete para predecir los caracteres de canal, crecimiento canal y conformación/clasificación, esto es discutido más adelante.

Una adaptación/eficiencia óptima necesita alcanzar un equilibrio entre ingresos y costes del animal durante todas las fases determinadas tanto por caracteres funcionales como de producción. Por tanto, en este trabajo, los pesos económicos fueron estimados considerando la influencia de los caracteres en todo el proceso de producción (nodriza y cebo), similar a Hirooka *et al.* (1998), y expresados por unidad de producto de acuerdo a Dickerson (1970), Tess y Davis (1976) y Smith *et al.*, 1986. La inclusión de los caracteres funcionales y de producción mediante un índice de selección permitiría realizar acoplamiento adecuados con el objeto de producir hembras de reposición y terneros/as destinados a sacrificio. Se han planteado dos índices diferentes a partir de los pesos económicos obtenidos de este modelo bioeconómico: un índice de reposición, destinado a obtener hembras de reposición y un índice terminal, para obtener animales con destino sacrificio, similar al programa irlandés (Amer *et al.*, 2001) u otros trabajos como MacNeil *et al.* (1994 y 2007). Sin embargo, se han de desarrollar otros trabajos para incluir nuevos caracteres en la función de beneficio, caracteres como enfermedades, problemas de docilidad, producción de leche o facilidad de parto. La función de beneficio debe ser una herramienta abierta para maximizar el beneficio por ternero comercializado y será necesaria la incorporación de más información para su desarrollo.

Uno de los requisitos de la información utilizada en el modelo propuesto fue que fuera accesible y recogida fácilmente. Actualmente, las condiciones extensivas en vacuno de carne dificultan un extenso control de rendimientos, por esa razón los caracteres a partir de los cuales se ha desarrollado el modelo bioeconómico planteado en esta tesis estarían disponibles en gran parte de la población nacional. Además, es importante considerar la utilización de la información oficial (SIMOGAN y SITRAN) y los datos de sacrificio que actualmente se recogen en todas las explotaciones para incluirlos en los programas de mejora. Phocas *et al.* (1998) expusieron la necesidad de integrar

los datos recogidos en granja para evaluar la fertilidad y la supervivencia. Una gran base de datos y el registro de las paternidades son imprescindibles para la mejora de caracteres de baja heredabilidad. La utilización de toda la información de todos los animales, incluyendo la población cruzada permitiría esta mejora, aumentando la información disponible y el número de paternidades conocidas y esto mejoraría la fiabilidad de los resultados. En España, el sector del vacuno de carne es mayoritariamente cruzado y su integración en una recogida de información común con las razas puras, podría abordar la totalidad de la producción de carne, que actualmente es de aproximadamente 1,9 millones de nodrizas (MAPAMA, 2014).

7.2 Importancia de la edad al primer parto

La información utilizada procedente de 301 explotaciones de Blonda de Aquitania indica que no hubo un único manejo de la edad al primer parto con una paridera continua. La edad al primer parto fue de 20 a 48 meses de edad y en todos los meses de parto el porcentaje de partos fue al menos del 6%, no habiendo una clara concentración de partos, que implica una variación del carácter al coincidir novillas de distintas edades en la primera cubrición. De acuerdo con los resultados, la media de edad al primer parto cerca de los 36 meses (79% del primer parto sucedió más tarde de los 32 meses de edad), no existiendo, en general, un manejo específico para su reducción.

Se ha analizado la influencia de la edad al primer parto de la nodriza sobre los demás caracteres funcionales y de producción, en su primer parto y durante toda su vida productiva. Los caracteres analizados incluyendo los resultados durante toda la vida productiva de las nodrizas no se vieron afectados por la edad al primer parto, excepto el peso al nacimiento y el número de partos, con un mayor número de partos obtenidos para las nodrizas con una edad al primer parto más temprana. Por su parte, no hubo una tendencia clara en el carácter peso al nacimiento. Los caracteres funcionales (intervalo entre partos y facilidad de parto) y los caracteres de producción (peso al destete, crecimiento canal, clasificación de la canal, desarrollo muscular, desarrollo esquelético y aptitudes funcionales) no se vieron afectados por la edad al primer parto obteniendo resultados similares. De esta forma, una edad al primer parto más temprana, sobre 24,4 meses incrementaría la rentabilidad de la explotación, con un aumento del margen de 35€/ternero comercializado y año y produciría un 1,4% más de terneros comercializables a un precio medio de 1.449,2€. Day y Anderson (1998) obtuvieron resultados similares en paridera concentrada, con un aumento del número de partos de la nodriza.

Las medias ajustadas por mínimos cuadrados mostraron que una menor edad al primer parto estuvo relacionada con el peso al nacimiento, pero sin efecto en la fertilidad, en caracteres de producción ni en valoraciones lineales morfológicas. La precocidad aumentó la longevidad productiva de las nodrizas y redujo el número de novillas destinadas a reposición. La media no ajustada mostró de 0,3 a 0,4 partos más obtenidos por el grupo de entre 20 y 27 meses de edad al primer parto que para los grupos con una edad al primer parto superior a los 32 meses. También, las medias no ajustadas mostraron un mayor número de partos por vaca, lo que incrementó el margen obtenido por ternero comercializado debido a una reducción del coste de producción. Esto se debió a unos menores costes de cría y un aumento de la productividad numérica. Por tanto, la reducción de la edad al primer parto incrementó la productividad vitalicia de la nodriza, con un mayor número de partos. Estos resultados coinciden con Bernard *et al.* (1973) y Chapman *et al.* (1978), que concluyeron que una edad al primer parto a los 2 años es una práctica satisfactoria. Morris (1980 y 2000) estimaron un incremento de 0,5 partos más por vaca en nodrizas que tuvieron su edad al primer parto a los 2 años. Day (2015) también estimó 0,7 partos más por vaca nodriza, al igual que Patterson *et al.* (2000). Short *et al.* (1994) obtuvieron una correlación negativa entre la edad al primer parto y el porcentaje de fertilidad posterior, pero la reducción de la edad al primer parto en nuestro estudio no afectó ni al intervalo entre partos posterior ni a la facilidad de parto (ni en el grupo de primíparas ni en nodrizas).

Short *et al.* (1994) observaron una reducción del tamaño del ternero en partos tempranos, con un menor peso al nacimiento y al destete. Esto también fue observado por Day (2015) con menores pesos al destete en primíparas. En esta tesis no hubo influencia de la edad al primer parto sobre peso al destete de sus descendientes, pero si la hubo en el peso al nacimiento con menor peso para los partos más tempranos. En nuestro trabajo, tampoco se observó influencia de la edad al primer parto en el crecimiento canal diario, medido como peso canal entre edad al sacrificio. No hay estudios que muestren la relación entre la edad al primer parto y los caracteres relacionados con la canal del ternero, considerando animales sacrificados a los 14 meses de edad. El crecimiento canal y la clasificación de la canal no se vieron afectados por una reducción de la edad al primer parto, con una clasificación similar en todos los grupos y con una mayor clasificación de los hijos/as de primíparas con una edad al primer parto menor.

En cuanto a los parámetros genéticos, la heredabilidad de la edad al primer parto fue de 0,17 (moderada) lo que unido a su importancia económica, indicó que la edad al primer parto debería ser incluida en los objetivos de selección, incluyéndola en un índice maternal o de reposición con objeto de seleccionar por rentabilidad. Esta heredabilidad fue similar a la estimada por Caetano *et al.* (2013)

y Boligon *et al.* (2010) y Boligon y Albuquerque (2011) en Nellore, menor que 0,23 (Goyache y Gutierrez, 2001) en Asturiana de los Valles, 0,28 en Angus (Minick Bormann y Wilson, 2010) y 0,31 (Berry y Evans, 2014) en Irlanda, esto pudo deberse al no existir un objetivo de reducción, ni un manejo específico, lo que impide que los animales genéticamente más precoces, alcancen su edad al primer parto a una edad más temprana. Además, la diferencia en heredabilidad pudo deberse a una peor calidad de la información que en otros estudios. La correlación negativa -0,29 entre la edad al primer parto y el número de partos confirmó la relación entre precocidad y productividad. Nodrizas con menor edad al primer parto producen más terneros durante su vida productiva. La correlación con la facilidad de parto directa fue de 0,27 e indica que nodrizas con una edad al primer parto mayor tienen terneros de mayor tamaño. Las correlaciones con la facilidad de parto fueron mayores pero siguieron el mismo signo que 0,28 y -0,22 estimadas por Berry y Evans (2014), probablemente porque este trabajo estaba basado en la información de una única raza. Gutiérrez *et al.*, (2002) estimaron una correlación de 0,23 entre la edad al primer parto y el intervalo entre partos, superior a 0,14 estimado en este trabajo, siendo esta correlación muy baja. Las correlaciones genéticas con el peso al nacimiento, el peso al destete y el crecimiento canal diario fueron bajas, lo que confirma que no hubo influencia en los caracteres relacionados con el crecimiento (peso al destete y crecimiento canal) similar a los obtenidos por Berry y Evans (2014). Se estimaron correlaciones ligeramente positivas entre la edad al primer parto y las valoraciones lineales morfológicas tomadas al destete (desarrollo muscular) y clasificación de la canal, indicando que los terneros procedentes de hembras menos precoces presentan un mayor desarrollo muscular. Phocas (2009) estimó una correlación negativa (-0,53 a -0,44) entre la muscularidad y el éxito reproductivo en novillas. Roughsedge *et al.* (2005) reportaron correlaciones negativas entre la edad al primer parto y la calificación muscular en cuatro razas, presentando solo valores altos en Limusina. La correlación de la edad al primer parto con los caracteres morfológicos, desarrollo esquelético y aptitudes funcionales fue moderadamente negativa (-0,26 y -0,16), indicando que un mayor valor de desarrollos esquelético y aptitudes funcionales está asociado a una menor edad al primer parto. Berry *et al.* (2014) estimaron correlaciones entre edad al primer parto y desarrollo esquelético desde 0,18 a -0,19. Bourdon y Brinks (1982) estimaron una relación favorable entre el crecimiento y un comienzo más temprano de la reproducción, no observándose influencia en este trabajo.

El peso económico de la edad al primer parto estimado a partir del modelo bioeconómico desarrollado fue de -0,16 € por ternero comercializado y año por día de incremento. Esta cantidad implica un total de -4,32€ por unidad de desviación genética (27 días). Esta importancia económica

justifica la reducción de la edad al primer parto y su inclusión en los objetivos de selección para poder seleccionar nodrizas más precoces.

7.3 Predicción de las características de la canal

De acuerdo a Harris (1970) un programa de mejora competitivo debe recoger todos aquellos caracteres relacionados con los ingresos y costes de todos los animales de la explotación, desde su nacimiento hasta su sacrificio. Los animales que son destinados a reposición y aquellos animales recién destetados que no hayan sido engordados y sacrificados, no disponen de información relacionada con el valor de su canal (dato propio) y los animales destinados a reposición no dispondrán de ese carácter a una edad temprana. En estos animales, las medidas de caracteres que implican el sacrificio y, por tanto, la mejora de la calidad de la canal solo podría hacerse mediante pruebas de progenie o mediante otros caracteres que se midan en animal vivo, como calificaciones visuales (Alderson, 1999; Toral et al., 2011). Además el alto coste de la obtención de los caracteres de canal (composición de la canal) justifica la utilización de otros caracteres que sean más accesibles y fáciles de obtener para seleccionar los animales con mayor mérito en caracteres de canal. Para ello, el valor de la canal debería ser predicho por la información disponible al destete con el objetivo de detectar aquellos animales con mayor mérito. En este trabajo esta predicción se realiza con la información tomada en torno al destete, valoraciones morfológicas y pesadas en vivo.

El uso de métodos de predicción permitiría cambios en el manejo, genética o comercialización según el tipo de animal producido (Afolayan *et al.*, 2007). Es, por tanto, de gran importancia detectar aquellos caracteres relacionados con el valor de la canal y que sean tomados en todos los animales de una forma asequible. Estos caracteres podrían ser incluidos en la valoración genética de los caracteres de canal, incluyéndolos en una valoración multicarácter similar a la propuesta de Woodward *et al.* (1992), Meyer (2007) y González-Rodríguez *et al.* (2011). Esto implicaría una reducción del error de predicción y mejoraría la fiabilidad de las valoraciones. En Limusina y Blonda de Aquitania, Bouquet *et al.* (2010) y Bouquet, (2010), estimaron correlaciones positivas tanto fenotípicas como genéticas entre el peso a los 210 días y las valoraciones lineales con el peso canal y la clasificación de la canal, concluyendo que la selección por el peso a los 210 días y la calificación muscular implicaría una mejora de los caracteres de la canal.

La utilización de las valoraciones lineales como predictores de las características de la canal ha sido estudiada en varios trabajos para mejorar la composición de la canal y los caracteres de crecimiento (Bouquet *et al.*, 2010; Boligon *et al.*, 2011a y Conroy *et al.*, 2010). En este trabajo se estimó la correlación entre valoraciones y pesos en vivo y los caracteres de canal en Blonda de Aquitania y Limusina, utilizando la información de cada raza por separado y la información en conjunto. Las valoraciones lineales obtuvieron correlaciones bajas con el crecimiento canal diario (0-0,39) y con la

clasificación de la canal (0,03-0,28) siendo los caracteres más correlacionados la anchura de nalgas, anchura de trocánteres y redondez de nalga con la clasificación de la canal (0,26-0,27) y la anchura de los trocánteres con el crecimiento canal diario (0,39). Estas correlaciones fueron menores que las encontradas en la literatura. Drennan *et al.* (2009) estimaron correlaciones entre 0,71 y 0,81 y entre 0,81 y 0,86 entre calificaciones musculares (anchura de cruz, anchura dorso, redondez de nalga, anchura de nalga y desarrollo del muslo interno) tomadas entre 8 y 12 meses y el peso canal y la clasificación de la canal para animales con una edad al sacrificio media de 451 días y una clasificación de la canal entre 4,7 y 14 (en una escala de 1 a 15). En el mismo estudio estimaron correlaciones menores para las calificaciones esqueléticas (longitud de pelvis, longitud de dorso y altura a la cruz/desarrollo) tanto con la clasificación de la canal (-0,14-0,27) como con el peso canal (0,33-0,50). Para animales de entre 437 y 915 días con una clasificación de la canal de entre 2 y 12, Drennan *et al.* (2009) estimaron correlaciones con las calificaciones musculares tomadas de 8 a 12 meses de entre 0,43 y 0,56 entre el peso canal y con las calificaciones esqueléticas entre 0,44 y 0,60 con la clasificación de la canal, y entre 0,40-0,51 el peso canal y entre 0,22 y 0,31 con la clasificación de la canal. Conroy *et al.* (2010a) estimaron correlaciones positivas entre las calificaciones musculares tomadas antes del sacrificio y el rendimiento canal (0,82), la proporción de carne de la canal (0,72), la clasificación de la canal (0,94), el valor de la canal (0,72) y la proporción de piezas nobles (0,49) y una correlación negativa con la proporción de hueso en la canal (0,89). Toral *et al.* (2011) estimaron correlaciones genéticas y fenotípicas positivas entre el crecimiento post destete y las calificaciones visuales de conformación, muscularidad y precocidad con los caracteres de canal. En la raza Nellore, Bonin *et al.*, (2015) estimaron correlaciones moderadas positivas entre la clasificación de la canal y la anchura de la grupa (0,33), la longitud de la grupa (0,27), siendo mayores para muscularidad (0,66) y para tamaño (0,48). En nuestro estudio los caracteres esqueléticos (longitudes y desarrollo) también tuvieron una menor correlación con los caracteres de canal que los musculares y las correlaciones con la clasificación de la canal fueron menores posiblemente producidas por una menor variación del carácter clasificación de la canal con valores entre 5 y 11 (escala 1 a 15). Las poblaciones utilizadas en este trabajo presentan clasificaciones de canal similares, por lo que sería necesario la inclusión de razas que aporten variabilidad al estudio.

Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales y las correlaciones entre las valoraciones de las tres poblaciones mostraron tres grupos de caracteres (anchuras, longitudes y desarrollo y grosor de cañas/rectitud de dorso). Actualmente en Blonda de Aquitania y Limusina los caracteres se agrupan en desarrollo muscular (anchura de la cruz, anchura del dorso, anchura de nalga, redondez de nalga y espesor del lomo) y desarrollo esquelético (longitud de dorso, longitud de pelvis

y desarrollo/estatura), por lo que hay que destacar que esta agrupación concuerda con los resultados del estudio. La mayor variación explicada por las anchuras en el análisis de componentes principales (55%) concuerda con los caracteres seleccionados mediante la regresión paso a paso, que junto al peso a los 210 días son incluidos en los modelos de predicción que obtuvieron mejores predicciones ($R^2 = 0,74-0,77$). En general las valoraciones lineales de longitud y desarrollo mostraron una menor correlación con los caracteres de canal de acuerdo con lo estimado por Drennan *et al.* (2009), presentando una menor variabilidad que los caracteres relacionados con el desarrollo muscular (anchuras). Esto permite una mejor predicción de los caracteres de canal con los caracteres musculares, ya que proporcionan una mayor cantidad de información que las calificaciones esqueléticas. La segunda componente relacionada con los caracteres de longitud y desarrollo explican una menor variabilidad entre animales, siendo por ello peores predictores de los caracteres de canal.

Para la toma de los caracteres utilizados en este trabajo realizada por calificadores y la recogida del peso a los 120 y 210 días se incurre en un alto coste. La utilización de una clasificación centrada en estos pocos caracteres con una mayor relación con el valor del animal podría ser aplicado en una mayor población con un coste menor, ya que podría ser realizada por los propios ganaderos. Para ello se desarrollaron modelos de predicción con el objeto de estimar los mejores predictores del valor de la canal. Las mejores predicciones se obtuvieron combinando las valoraciones lineales y el peso a los 210 días, siendo el mejor predictor individual. La utilización o inclusión del peso a los 120 días no mejoró el ajuste del modelo, siendo el peor predictor del valor de la canal (crecimiento y conformación). Los resultados obtenidos en los modelos de predicción obtuvieron peores predicciones que Afolayan *et al.* (2002), quienes estimaron valores del coeficiente de determinación del 93% para predecir el peso canal utilizando como predictores la combinación de la altura del animal, la cadera y el ancho del corvejón. También, se obtuvieron predicciones peores que Drennan *et al.* (2008), quienes estimaron correlaciones entre 0,65 y 0,82 entre la clasificación de la canal y las calificaciones musculares al sacrificio y entre 0,36 y 0,73 al destete utilizando la media de 9, 5 y 2 caracteres tomados en el animal en vivo.

El peso al destete (peso a los 120 o 210 días) es normalmente incluido en los programas de mejora (Amer *et al.*, 2001 y Phocas y Sapa, 2004) con el objetivo de mejorar el crecimiento del animal. Diskin y Kenny (2016) encontraron un mayor crecimiento de la canal diario y un mayor rendimiento de la canal y una clasificación de la canal similar en los animales seleccionados por alto valor genético de crecimiento. En nuestro trabajo se estimaron correlaciones positivas con el crecimiento y con la clasificación. Sin embargo, el peso a los 120 días se mostró como el peor predictor de la clasificación

de la canal y el crecimiento canal. Se ha de considerar que el peso a los 120 días se incluye en los programas de mejora como indicador de la aptitud maternal (Meyer, 1997) y producción de leche de la hembra y no solo como predictor o indicador del crecimiento del animal. Bouquet *et al.* (2010) concluye que la selección en función del peso al destete implicaría canales más pesadas y una selección por muscularidad al destete estaría asociado a una mayor conformación de la canal.

La clasificación de la canal es el carácter del que se obtienen peores predicciones. La peor predicción puede ser debida al sistema de clasificación de canales utilizado, mediante una calificación visual, lo cual disminuiría la variación o produciría un sesgo en las calificaciones o la inclusión de animales de otras razas/cruces que aporten mayor variabilidad. En nuestro trabajo, el 90% de las clasificaciones fueron entre R y E- (CEE, 1981), traducido a escala numérica una diferencia de 5 puntos (en una escala de 1 a 15) presentando una menor variación que otros trabajos de la literatura (Afolayan *et al.*, 2002; Drennan *et al.*, 2008b; Drennan *et al.*, 2009; S. B. Conroy *et al.*, 2010a). Estos resultados sugieren el desarrollo de otros sistemas de clasificación objetivos que relacionen la clasificación de la canal con el % de carne comercializable (Conroy *et al.*, 2010a y 2010b; Craigie *et al.*, 2012) similar a la propuesta de Allen (2014) y Lazzaroni *et al.* (2007).

En este trabajo se utilizó la información en conjunto con el objetivo de diseñar un modelo de predicción con los mismos caracteres en ambas razas. Se obtuvo un ajuste similar para el modelo que incluyó el peso a los 210 días y las valoraciones lineales, y predicciones similares o mejores que con los modelos de cada raza. Este modelo permitiría la utilización de una única ecuación de predicción para las dos razas utilizando los mismos caracteres y simplificando la recogida de información.

7.4 Desarrollo de índice de reposición y terminal e inclusión de la reducción de las emisiones de CH₄ en el objetivo de selección

7.4.1 Índice de reposición e índice terminal

El objetivo fue diseñar dos índices de selección, el índice de reposición tendría como objetivo la obtención de vacas nodrizas y el índice terminal la obtención de animales con alto valor al sacrificio. El índice de reposición combina los caracteres del índice terminal con los caracteres funcionales de las nodrizas. A partir de la función de beneficio es posible estimar las ponderaciones económicas de los caracteres a incluir en cada índice, separando los dos objetivos.

Para el índice de reposición se incluyeron todos los caracteres de los que es responsable una nodriza, desde que se destina a reposición hasta su sacrificio. En la figura 7.4.1 se muestran todos los caracteres relacionados con los ingresos, los costes de cebo y de producción. En este trabajo no se incluyeron el análisis de algunos caracteres como la docilidad, el engrasamiento, la mortalidad o el índice de conversión. Para el índice terminal, solo se incluyeron los caracteres relacionados con los ingresos, los costes de cebo y los problemas asociados a problemas en el parto (Figura 7.4.1).

Figura 7.4.1. Caracteres incluidos en el índice de reposición (♀) y en índice terminal (♂) y relación con los ingresos y costes incluidos en la función de beneficio.

El índice de reposición incluye, por tanto, caracteres funcionales y de producción debido a que las nodrizas son responsables de los ingresos obtenidos por la venta del ternero y han de optimizar ese valor, consiguiendo un crecimiento y una clasificación de la canal adecuados. Además, esas nodrizas han de tener unos costes moderados determinados por los caracteres funcionales. La importancia de los caracteres funcionales y de producción en el índice fue del 48% y del 52%, respectivamente. El carácter más importante fue el carácter crecimiento canal, determinante de los kg de canal comercializada por nodriza y por tanto de los ingresos obtenidos. El segundo carácter en importancia es el peso adulto debido a que su aumento implicaría un incremento de las necesidades energéticas de novillas, nodrizas y desecho y por tanto un aumento de los costes de producción.

En vacuno de carne se han desarrollado otros trabajos similares a este, diseñando índices “especializados” para obtener animales de reposición y animales destinados a sacrificio. MacNeil *et al.* (1994) desarrollaron un modelo económico que permitía la estimación de los pesos económicos relativos para seleccionar dos “líneas” especializadas, una maternal y una terminal. La línea hembra/maternal tendría como objetivo minimizar el coste de alimentación durante el invierno produciendo un ternero óptimo. La línea macho tenía como objetivo minimizar la incidencia de distocias, minimizando la mortalidad al nacimiento y optimizando el valor de la canal producida. El enfoque de MacNeil *et al.* (1994) es similar al de esta tesis, pero sin considerar la selección de “líneas” dentro de la población. Phocas *et al.* (1998) desarrollaron un índice en la raza Limusina que combinó los caracteres funcionales relacionados con el parto (supervivencia, fertilidad y efecto materno del peso al destete) y caracteres de producción (caracteres de canal, conformación, engrasamiento, ganancia media diaria en cebo). Phocas *et al.* (1998), estimaron una importancia de los caracteres funcionales del 40% al 68% dependiendo del sistema de producción, sin embargo en esta tesis se incluye la edad al primer parto, el consumo y valor de desecho. El índice de reposición es similar al diseñado por Amer *et al.* (2001 y 2006) que incluye caracteres funcionales y de producción. El programa irlandés actualmente incluye actualmente caracteres funcionales y de producción en el índice de reposición, con una importancia relativa de 71% y 29%, respectivamente (Irish Breeding Cattle Federation, 2017).

Respecto al índice terminal, la propuesta de esta tesis es similar a la de Mac Neil *et al.* (1994) o Amer *et al.* (1998), considerando la mejora del valor de la canal y la reducción de los problemas de parto como objetivos. En España la inclusión de los datos de matadero en los programas de Blonda de Aquitania y en Pirenaica (Altarriba *et al.*, 2009), supuso la posibilidad de seleccionar animales con mayor mérito canal incluyendo estos caracteres en los índices de selección de ambas razas.

De acuerdo a la respuesta a la selección esperada por los índices, para ambos objetivos se obtendría una mejora del margen por ternero comercializado. Aplicando el índice de reposición se obtendría una reducción de los periodos improductivos, una ligera mejora de la facilidad de parto, y un aumento del valor de la canal del ternero y de desecho. Además, pese a que el peso adulto tiene una importancia negativa en el índice, bajo la situación actual de los precios de suplementación y el valor de la carne, con un controlado aumento de peso se aumentaría la rentabilidad. Un aumento del peso adulto se compensaría por el mayor valor de los terneros. Este concepto de unidad de producto por peso metabólico de la madre fue desarrollado por Dickerson (1970) relacionando ingresos/coste de la nodriza. La respuesta esperada al aplicar el índice de reposición concuerda con los resultados obtenidos por Quinton *et al.* (2017) en Irlanda al aplicar su índice de reposición, con una reducción de los periodos improductivos, un ligero aumento del consumo de terneros y una mejora de los caracteres de canal, en cambio obtienen una ligera reducción del consumo o peso adulto.

Para el índice terminal solo se incluyeron los caracteres de producción, similar a la propuesta de Amer *et al.* (1997) y MacNeil *et al.* (1994), con una respuesta económica del margen de 70,1€, debido principalmente a una mejora de los caracteres crecimiento canal y clasificación de la canal, obteniendo un ligero empeoramiento de la facilidad de parto directa. La respuesta esperada al aplicar el índice terminal también concuerda con los resultados de Quinton *et al.* (2017), con aumento del valor de la canal y un ligero empeoramiento de la facilidad de parto.

Analizando la respuesta que se obtendría en los caracteres funcionales utilizando solo el índice terminal. Es decir, cuando se seleccionan novillas solo por los caracteres de producción, se obtendría un empeoramiento de todos los caracteres funcionales, comparado con la respuesta obtenida utilizando el índice de reposición, que incluye los dos grupos de caracteres. El peso adulto aumentaría y los periodos improductivos serían mayores, produciendo un mayor coste de producción y condicionando la rentabilidad de la explotación. Esto justifica la inclusión de los caracteres funcionales a la hora de seleccionar hembras de reposición. Actualmente, los caracteres funcionales no son incluidos en el objetivo de selección de las razas utilizadas en esta tesis y se ha de considerar la repercusión de seleccionar solo por caracteres asociados a la producción en la rentabilidad por animal y año.

7.4.2 Inclusión de las emisiones de CH₄ en el objetivo de selección

En una última parte de la tesis, el objetivo fue analizar el impacto en las emisiones de CH₄ del índice de reposición y plantear estrategias para mitigar el impacto de las emisiones de CH₄, detectando

cual han de ser los caracteres a seleccionar para minimizar este impacto ambiental o detectar cuales son los animales más eficientes en su producción. En los escenarios 2 y 3 se incluyeron como caracteres, las emisiones procedentes de vacas y terneros. Para ello, se estimaron las emisiones de CH₄ expresadas en kg de CH₄ por ternero comercializado y año procedentes de la vacas (novilla, nodriza y desecho) y del ternero en cebo. Los pesos económicos fueron estimados para cada uno de los tres escenarios.

La estimación de kg de CH₄ producidos por el ternero en cebo fueron similares a los 35 kg CH₄ por cabeza y año estimados por Phetteplace y Johnson (2001) en animales con un peso adulto de 497 kg, y los 37 kg CH₄ por cabeza y año estimados por fermentación entérica Gibbs *et al.* (1994) a partir de la Energía Bruta similar a la propuesta en este trabajo. Beauchemin y McGinn (2005) estimaron entre 62 g y 171 g de CH₄ por día mediante medición directa, lo que supondría unas emisiones de entre 11,5 kg y 31,6 kg de CH₄ para la misma duración del cebo que en nuestro estudio, observando que las estimas fueron subestimadas debido al menor consumo de los animales en las cámaras de respiración. Basarab *et al.* (2005) estimaron valores entre 46 kg y 80 kg de CH₄ por cabeza y año procedente de fermentación entérica del sector de cebo en Alberta, siendo estos valores similares a los estimados en nuestro trabajo. La Agencia de Protección Ambiental (US. EPA, 1999) estimó una producción de 58 kg de CH₄ por cabeza y año procedente de nodrizas y reposición similar a los 54 kg estimados por Phetteplace y Johnson (2001). Basarab *et al.* (2005) estimó valores entre 61 y 135 kg de CH₄ por cabeza y año de vacas nodrizas, dependiendo de su estado fisiológico (preñez/lactación) en la producción de vacuno de Alberta. La producción de estiércol estimada por Phetteplace y Johnson (2001) fue de 1,6 y 0,6 kg de CH₄ por cabeza para vacas nodrizas y terneros en cebo. la U.S. EPA (States, 2000) estimó 2,5 y 62,0 kg por cabeza la producción de CH₄ procedente de estiércol para vacuno de carne y vacuno de leche. En general, las estimas fueron similares o ligeramente superiores a las encontradas en la literatura para terneros en cebo. Los resultados estimados muestran una contribución similar de la nodriza (60-70%) y el ternero (30-40%) obtenidos por estiércol y fermentación entérica. En vacas, la unidad utilizada en nuestro trabajo hace difícil la comparación (kg CH₄ producidos por ternero y año) entre los valores obtenidos por vacas con otros trabajos. En vacuno de carne, Quinton *et al.* (2017) mostraron los resultados por unidad de producto, en este caso consideraron la unidad de producto, el kg de carne comercializada, denominando a este carácter “intensidad de emisión”.

Para el desarrollo de los índices se estimaron los parámetros genéticos de los caracteres funcionales, de producción y de CH₄. Se estimó la heredabilidad del carácter emisiones procedentes de la etapa de nodriza (0,18) y del ternero en cebo (0,42) con una correlación positiva entre ambas, la

mayor heredabilidad del carácter emisiones del ternero en cebo es debida a la alta correlación con el carácter crecimiento canal diario, de alta heredabilidad.

Las heredabilidades de los caracteres a incluir en el índice estuvieron en el rango encontrado en la literatura, la heredabilidad estimada para la edad al primer parto fue similar a las estimadas por Goyache y Gutierrez (2001) y Berry y Evans (2014), entre 0,20 y 0,38. Para el intervalo entre partos la heredabilidad fue muy baja siendo inferior a Goyache et al. (2002), Roughsedge *et al.* (2005) y Dal Zotto *et al.* (2007) entre 0,05 y 0,12. Goyache *et al.* (2007) estimaron una heredabilidad de 0,19 para la facilidad de parto materna y directa, Phocas y Laloe (2003) estimaron una heredabilidad de 0,13 y 0,14 para la facilidad de parto directa y materna, siendo similar a la estimada en esta tesis para la facilidad de parto materna e inferiores para la facilidad de parto directa. La estimación de heredabilidad para el peso al destete fue similar a Phocas y Sapa (2004) en Blonda de Aquitania. Para el carácter producción de CH₄ Donogue *et al.* (2016) estimaron una heredabilidad de 0,30 y 0,22 expresando en in g d⁻¹ y g kg⁻¹ de materia seca ingerida en Angus siendo inferior a la estimada para terneros en cebo y mayo que la estimada para nodrizas. En vacuno de leche la heredabilidad de la producción de CH₄ diaria destinada fue de 0,35 (de Haas *et al.*, 2011) y de 0,26 (Herd *et al.*, 2012). Las correlaciones estimadas por Donoghue *et al.* (2016) en Angus entre la producción de CH₄ y los caracteres de crecimiento fueron 0,36, 0,84, 0,32, 0,86 y 0,79 para el peso al nacimiento, peso al destete, peso al destete materno, peso al destete al año de edad y peso final. La producción de CH₄ por nodriza presentó mayores correlaciones con el intervalo entre partos, el peso al destete directo y la edad al primer parto mientras que el carácter kg de CH₄ producidos por el ternero mostró altas correlaciones con el crecimiento canal, el peso al destete directo y el peso de desecho.

Analizando las correlaciones entre los caracteres de CH₄ y los demás caracteres, la tendencia general sugiere que se esperan unas mayores emisiones producidas por terneros cuando son seleccionados en base al crecimiento y la conformación. Se espera que los animales que crecen más rápido ingieran una mayor cantidad de alimento y por tanto produzcan una mayor cantidad de CH₄. Por el contrario, la reducción de los periodos improductivos disminuiría las emisiones producidas por la nodriza en todas sus fases. Nodrizas con un primer parto más tardío o con menor fertilidad tienden a emitir más kg de CH₄ por ternero comercializado. Unos mayores periodos improductivos están asociados a un incremento de la producción de CH₄ por ternero y conlleva una pérdida de rentabilidad por ternero producido.

Es necesario evaluar diferentes estrategias con objeto de establecer una presión de selección óptima para estos caracteres, debido a que según las correlaciones estimadas, la selección por

caracteres de producción tendría un efecto no deseado en la producción de CH₄, mientras que la selección por caracteres funcionales conllevaría una reducción de las emisiones por ternero producido. En futuros trabajos, se ha de estudiar, siguiendo el modelo desarrollado por Amer *et al.* (2017), el impacto que tendría esta selección, en la eficiencia o intensidad de emisión de las nodrizas (kg de CH₄/kg de carne producido). El objetivo ha de ser maximizar la eficiencia en la producción minimizando el impacto ambiental e incrementando la rentabilidad de los animales.

El Escenario 2 incluyó una tasa de carbono penalizando a aquellos animales con una mayor producción de CH₄, mientras que en el Escenario 3 se estableció una cuota de producción por explotación, siendo en este caso variable el número de animales por explotación. La consideración de la tasa de carbono incluyó el carácter emisiones (ternero y vaca nodriza) en el índice con un 4,8% de importancia, incrementando además, la importancia de los caracteres funcionales en un 1,1% en el índice. Esto se debe a la mayor importancia del peso adulto, la fertilidad y la precocidad en el índice y a la mayor producción de CH₄ producida por un mayor crecimiento canal diario, lo que hace que se reduzca la importancia del crecimiento canal y la clasificación de la canal en el índice.

En el Escenario 3, con la imposición de una cuota de emisiones por explotación se produjo una reducción de la importancia de los caracteres funcionales en un 2,3%, debido a la mayor importancia de los caracteres crecimiento canal y clasificación de la canal, en este caso las emisiones se incluyeron con un 1,8%. Esto se debe a que en situaciones de cuota se tiende a maximizar la producción obtenida por animal hasta alcanzar la cuota deseada. Esta mayor importancia de los caracteres de producción es similar al establecimiento de la cuota lechera en vacuno de leche (Chafferddine, 1998), donde se tendió hacia animales de mayor producción de leche. Pese a la respuesta positiva esperada individual del carácter emisiones, en este escenario las emisiones por explotación no se incrementarían debido a la cuota.

Analizando la respuesta a la selección bajo los tres escenarios, la respuesta en el margen en el Escenario 1 (índice de reposición) fue de 68,84€/ternero comercializado/año, debido a una reducción de los periodos improductivos y mayor crecimiento de los animales, pese a un aumento del peso adulto. En el Escenario 2 con la inclusión de la tasa de carbono se espera una reducción del crecimiento y del tamaño de los animales y una mejora de los periodos improductivos, lo que supondría una menor respuesta del margen por ternero comercializado, teniendo como consecuencia una pérdida de rentabilidad. En el Escenario 3 se esperaría un ligero aumento del margen con una mayor respuesta de los caracteres de producción.

Las dos estrategias de inclusión de la reducción de las emisiones implicarían cambios en la presión de selección sobre los caracteres, poniendo más énfasis en los caracteres funcionales o en los caracteres de producción en función de la estrategia. Se obtiene por tanto una mayor proporción de respuesta económica en el Escenario 2 para los caracteres funcionales (11%) que en el Escenario 3, donde el 97% de la respuesta económica se debe a caracteres de producción. Estos cambios implican un impacto en el beneficio o margen obtenido por ternero comercializado y año, obteniéndose un margen 3,75 € menor en el Escenario 2 y 1,91€ mayor en el Escenario 3 (sin considerar el peso económico de las emisiones). Estos cambios implicarían una menor reducción de las emisiones en el Escenario 3 (0,24 kg CH₄/año) frente a la reducción del Escenario 2 (1,60 kg CH₄/año) respecto al Escenario 1. Sin embargo en situación de cuota el número de animales tendería a reducirse hasta alcanzar la cuota, lo que afectaría al censo de la explotación y por tanto a la rentabilidad de la explotación. En general, rentabilidad y emisiones muestran una relación negativa y la utilización del índice para los dos escenarios propuestos supondría una pérdida de rentabilidad, pero también un mayor control de las emisiones. En caso de que se impusiera una penalización, este tipo de estudios permitirían a ganaderos y políticos discernir entre la más adecuada.

En vacuno de carne, se han realizado pocos trabajos similares a este. Quinton *et al.* (2017) realizaron una propuesta similar estimando el efecto de los índices de selección terminal y maternal en las emisiones de gases de efecto invernadero, estimando los kg de CO₂ por vaca y año, estimado a partir del consumo, siguiendo el modelo desarrollado por Amer *et al.* (2017). Estimaron el impacto por unidad de cada carácter incluido en el índice, en kg CO₂/vaca/año y por kilogramos de carne producida (kg CO₂/kg de carne). A partir de esa estimación calcularon la variación en las emisiones gracias a la respuesta genética esperada que se obtendría para cada carácter al aplicar el índice de reposición. A diferencia de esta propuesta, este trabajo propone incorporar directamente las emisiones en el objetivo de selección incluyendo su peso económico. Se establecieron dos posibles estrategias de reducción. La propuesta del Escenario 3 implicaría un mantenimiento de las emisiones totales con una mayor eficiencia económica.

De acuerdo Quinton *et al.* (2017), una mejora de la supervivencia, una reducción del peso adulto y del intervalo entre partos producirían una reducción de las emisiones por kg de carne producida o por unidad de índice. En este trabajo se obtuvieron resultados similares, donde una reducción del peso adulto y los periodos improductivos conllevarían una disminución de las emisiones, siendo el aumento del crecimiento canal y el peso adulto la principal causa del incremento de emisiones en los índices aplicados. Sin embargo, este carácter crecimiento canal es el de mayor repercusión económica positiva

y su mejora es clave para la mejora de la rentabilidad. Al incluir el carácter emisiones en el objetivo se considera su impacto estableciendo un posible freno a su mejora.

Para una mejor comparación se ha comparado la producción de CH₄ de los animales con mejor y peor índice de reposición y terminal. En Irlanda establecieron una diferencia entre las mejores y peores nodrizas por índice maternal de 96€, estableciendo una diferencia en kg CO₂ al año de 197 kg de CO₂/vaca/año (Irish Breeding Cattle Federation, 2018b). Se ha de considerar que en estudio realizado en Irlanda la media del intervalo entre partos del 20% peor del índice de reposición fue solo de 423 días, mientras que en la población utilizada en esta tesis, la media del intervalo entre partos fue de 417 días, teniendo una fertilidad mucho menor que en Irlanda lo que implica diferentes objetivos y repercusión de los índices. Además, en el índice de reposición irlandés la importancia de los caracteres funcionales es de un 71%, haciendo un mayor hincapié en la mejora de estos caracteres. Esto se debe a que su sistema de producción a base de pasto. En futuros trabajos se deben estimar las diferencias para la población estudiada en el carácter emisiones según las diferencias en el índice de reposición y el terminal.

7.5 Discusión general

La Tesis estudia parte del proceso de un programa de mejora de la rentabilidad propuesto por Harris (1970) y Dickerson (1970). Un programa de mejora de la rentabilidad tiene como objetivo seleccionar los reproductores de la siguiente generación, de tal forma que sean más rentables que sus progenitores. Esto se consigue optimizando todos los caracteres que inciden en la rentabilidad, tanto en los ingresos como en los costes (Figura 7.4.1).

La función de beneficio desarrollada en esta Tesis permite determinar la importancia económica de cada uno de los caracteres que inciden en el margen por ternero comercializado (Figura 7.4.1). Se determina su influencia tanto en los ingresos como en los costes, la interrelación que tienen entre sí, y su utilización para el desarrollo de índices de selección.

Para aumentar los ingresos se han de mejorar el crecimiento y la clasificación de la canal con un engrasamiento adaptado a la demanda. Los caracteres que inciden en el coste de cebo son el peso a la entrada del cebo, la ganancia media diaria en cebo y el índice de conversión. Estos caracteres poseen una heredabilidad media-alta manifestándose a edades tempranas. Actualmente, los ganaderos españoles seleccionan los animales en base a los fenotipos de estos caracteres. Al ser caracteres de una heredabilidad media-alta, la selección por fenotipo es efectiva. Sin embargo, los animales que son destinados a reposición no disponen de información propia de valor de canal, ni de

crecimiento en cebo, y es necesario determinar los caracteres de selección temprana que permitan predecir este valor. En este trabajo se abordó esta problemática utilizando la información tomada al destete (pesadas en vivo y valoraciones lineales) para predecir el crecimiento canal y la clasificación de la canal en las poblaciones de Blonda de Aquitania y Limusina. Los resultados mostraron que la combinación del peso a los 210 días y las valoraciones lineales serían los mejores predictores del crecimiento canal. Para la clasificación de la canal se obtuvieron peores resultados, debido probablemente a la baja variabilidad de la clasificación de las canales de la población estudiada comparada con otros trabajos (Drennan *et al.*, 2008; Conroy *et al.*, 2010; Bouquet, 2010). En el trabajo realizado la predicción de la clasificación de la canal muestra una baja variabilidad, pues el 90% de los registros se encuentran en un rango de 5 puntos en una escala de 1 a 15. La inclusión de animales que aporten mayor variabilidad permitiría una mejor predicción de este carácter, como en los trabajos realizados por Afolayan *et al.* (2002), Drennan *et al.* (2008) y Conroy *et al.* (2010). El trabajo realizado combinó la información de la raza Limusina y Blonda de Aquitania obteniendo valores similares para los modelos de predicción, pudiendo establecer un modelo de predicción basado en las mismas calificaciones y pesadas en vivo. La inclusión de estos caracteres (valoraciones lineales y pesadas en vivo) en los programas de mejora implicaría utilizar índices de selección que permitan detectar animales con mayor mérito canal. López-Paredes *et al.* (2017a) desarrollaron un índice de selección económico combinando el peso a los 210 días y las valoraciones lineales estableciendo como objetivo el crecimiento canal. La mejora de las predicciones obtenidas combinando la información de ambas razas muestra una de las ventajas del análisis multirracial.

Para optimizar los costes de producción se ha de incidir en los caracteres descritos en la Figura 7.4.1. Estos caracteres reducen los costes de producción y son la precocidad, edad al primer parto, la fertilidad, intervalo entre partos, la aptitud al parto, facilidad de parto, peso al nacimiento y mortalidad al nacimiento, la mortalidad/supervivencia, la docilidad, la aptitud maternal, producción de leche, y peso al destete, y el consumo, peso adulto. Dentro de los caracteres funcionales, relacionados con los costes, hay dos tipos de caracteres, un primer tipo en el que se busca un óptimo intermedio que varía en función del sistema de producción. El segundo grupo son aquellos caracteres que han de ser erradicados de la población, como el temperamento o docilidad y la dificultad al parto. Un ejemplo de óptimo intermedio es la producción de leche que ha de permitir el crecimiento del ternero, no afectando a la entrada en celo de la madre por unas mayores necesidades energéticas. Se debe considerar que la mejora de los costes de producción no es intuitiva para el ganadero, como sí lo son los caracteres relacionados con el valor del ternero, que determinan los ingresos, pero son la base de una ganadería eficiente y rentable en todas sus facetas. Por ejemplo, la baja fertilidad del vacuno de

carne en España, con una fertilidad del 66% (%partos por vaca y año, SITRAN, 2014) y la edad primer parto, cercana a los tres años, son síntomas de una producción de leche y consumo no adaptados a los recursos disponibles.

En esta Tesis se analiza como ejemplo de carácter relacionado con los costes de producción, la edad al primer parto, siendo necesario analizar de forma similar los demás caracteres funcionales estableciendo estrategias para su mejora. Se estimó una diferencia de 32€ por cada ternero comercializado y año entre las nodrizas con una edad al primer parto menor de 27 meses y nodrizas con una edad al primer parto mayor a 40 meses. La heredabilidad de este carácter fue de 0,17, con una correlación genética favorable con el número de partos y facilidad de parto directa. Actualmente en España la edad al primer parto media es de 36 meses, siendo necesaria una reducción de la misma, sin ninguna consecuencia negativa en la producción de la nodriza. Debido a su importancia económica y, a pesar de su moderada heredabilidad, los caracteres funcionales han de incluirse en los objetivos de selección (Minick Bormann *et al.*, 2010). Para ello se ha de incrementar el número de animales y abordarlos no solo para la selección si no desde una perspectiva multidisciplinar y como se ha mencionado antes, la inclusión de la recogida de fenotipos en ganaderías “comerciales” no incluidas en las asociaciones de razas puras permitiría aumentar el número de datos recogidos.

Se ha de tener en cuenta que la selección temprana de los caracteres que inciden en la rentabilidad, determinados por la incidencia en los ingresos y en los costes, es clave para la mejora de la rentabilidad de las explotaciones. Esta selección es especialmente importante en los caracteres funcionales relacionados con los costes de producción, los cuales se manifiestan una vez que la nodriza es adulta. La selección por estos caracteres a partir de valoraciones genéticas tradicionales o genómicas permitiría la detección de aquellos animales más rentables o eficientes. La utilización del índice de reposición permitiría hacer esta selección a favor de animales más eficientes. Un ejemplo de la utilización de índices económicos es el vacuno de leche en España, donde el ICO, que combina caracteres funcionales y de producción, es utilizado por los ganaderos para la selección de hembras y machos de forma habitual. En vacuno de leche en España, se puede afirmar que actualmente, los sementales de mayor precio son aquellos con altos valores genéticos en ubres y patas con una producción suficiente. La introducción de una buena genética de los caracteres funcionales se debería realizar mediante inseminación artificial de sementales con prueba de progenie de dichos caracteres.

La función de beneficio desarrollada es una herramienta abierta a la inclusión de nuevos caracteres. Caracteres como la docilidad, la facilidad de parto y el consumo deben ser incluidos en los objetivos de selección.

La facilidad de parto es uno de los caracteres que han de ser estudiados con mayor profundidad debido a su repercusión económica. En esta tesis el carácter facilidad de parto fue incluido en el índice de reposición, pero se ha de profundizar en la estimación de su ponderación económica. Se realizaron estudios parciales sobre su importancia económica en la raza Pirenaica (López-Paredes *et al.* 2017b) y Blonda de Aquitania. Phocas *et al.* (2003) discutieron diferentes modelos para evaluar el carácter facilidad de parto. Matilainen *et al.* (2009) recomendaron su análisis como un carácter umbral utilizando la población de Limusina como caso de estudio en Reino Unido. Varona *et al.* (1999) propusieron la utilización de un modelo bicarácter incluyendo la facilidad de parto y el peso al nacimiento, analizando el carácter facilidad de parto como un carácter umbral. Además, se han de realizar trabajos para la estimación del peso económico de la facilidad de parto, considerando el coste de la pérdida de fertilidad posterior y la mortalidad del ternero (Koots y Gibson, 1998), y el coste de asistencia (Berry *et al.*, 2007).

El carácter consumo se estimó a partir del peso adulto. Un incremento del peso adulto supondría un aumento de las necesidades energéticas de novillas y nodrizas, similar a la estimación del peso económico realizada por Amer *et al.* (2001). En esta tesis se realizó una estimación del peso adulto a través del peso canal de desecho predicho, mediante una valoración genética multicarácter que incluye valoraciones lineales, peso al destete y caracteres de canal en Blonda de Aquitania. Dickerson (1970) relacionó la unidad de ingreso por peso metabólico de la nodriza. De acuerdo a los resultados al aplicar el índice de reposición, se espera un aumento de los ingresos y un aumento del peso adulto. Pese a que el peso adulto tiene una repercusión negativa aumentaría, pero bajo un mayor precio de la suplementación su importancia sería mayor y disminuiría (Tabla A.9 en el Anexo 3). Es posible que la causa de los problemas de fertilidad de la ganadería española sea un problema de alimentación al no estar adaptado del tipo de animal seleccionado a los recursos de los que dispone.

Por otro lado, una de las características que debe tener el programa de mejora de la rentabilidad es ser dinámico y adaptarse a cambios en el sistema de producción. Los programas de mejora no son estáticos ni únicos, ya que dependen del sistema de producción, de los precios y de la demanda. La función de beneficio permite esta adaptación a cambios como una variación en los precios de la suplementación y/o el precio de la carne. Los pesos económicos de los caracteres varían en función de las circunstancias y condicionan las decisiones de selección en los programas de mejora.

Como ejemplo, para facilitar la discusión se muestra cómo afectaría al índice de reposición un incremento del precio de la suplementación del 50% (Tabla A.9 en el Anexo 3). Los caracteres funcionales tendrían una ponderación del 60% en el índice de reposición en vez del 48%. Todos los

caracteres funcionales aumentarían su importancia. El peso adulto pasaría ser más importante, incrementando su ponderación negativa en un 7,6%. Por otro lado, los caracteres de producción, relacionados con los ingresos, reducirían su importancia con un menor peso económico del crecimiento canal, reduciéndose a la mitad. Un aumento del precio de la suplementación aumentaría los costes de cebo, que están determinados por el crecimiento canal. Por tanto, el encarecimiento de la suplementación implicaría enfatizar en la reducción de los costes de producción. La selección por este nuevo índice teniendo en cuenta un aumento del precio de la suplementación, llevaría a una reducción del peso adulto de 15 kg. Comparado con la respuesta obtenida aplicando en el índice de reposición, la diferencia sería de 22 kg, modificando el tipo de animal producido. Este es un ejemplo de utilización de la función de beneficio, adecuando el animal y el programa de mejora a los cambios del sistema de producción. La función de beneficio refleja, por tanto, el concepto de adaptación del animal al sistema de producción, teniendo como objetivo obtener un equilibrio entre los ingresos y los costes generados por un animal para unas condiciones determinadas.

Otra de los aspectos claves es que se ha de abordar la mejora de todos los caracteres desde una perspectiva multidisciplinar, optimizando manejo, sanidad, nutrición y selección. La función de beneficio permite estimar parámetros que permiten la comparación entre explotaciones, estableciendo las diferencias en euros ante diferentes estrategias, como la comparación entre las dos explotaciones estudiadas en la tesis. En los dos casos de estudio, la reducción de los períodos improductivos podría suponer una mejora de 178€ y 111€ por cada ternero comercializado, lo que permite estimar la importancia de esa reducción. La comparación de los resultados por animal, explotación, raza o población permitiría establecer posibles estrategias de mejora. En los Anexos 1 y 2 se muestran dos ejemplos de informes para ganaderías que permitirían detectar las diferentes debilidades y fortalezas para una explotación de raza Limusina.

Para la mejora de la rentabilidad es necesario tener un control de rendimientos amplio, que englobe todos los caracteres que inciden en los ingresos y en los costes de un animal desde su nacimiento hasta su sacrificio. La función de beneficio está basada en un control de rendimientos para un número elevado de explotaciones, ya sean de raza pura (inscritas o no en libros genealógicos), o cruzadas o comerciales. Implicaría un control de altas y bajas, control de partos (facilidad de parto), control de paternidades y un control de sacrificios. Se podría incluir en el control de rendimientos la información de calificaciones morfológicas y pesadas en vivo, procedentes de las asociaciones de raza pura y una calificación morfológica más simple en explotaciones comerciales.

El control de altas y bajas y la identificación de la madre están disponibles en las bases de datos oficiales (SITRAN). Los mataderos tienen un control de sacrificios, determinando para cada animal su peso canal, su conformación y su engrasamiento. Además, el programa también incluiría la información aportada por las asociaciones de razas puras que tienen un control de rendimientos más amplio. Uno de los aspectos más difíciles sería el control de las paternidades, sobre todo en sistemas extensivos. Este control de rendimientos permitiría establecer un programa de mejora de la rentabilidad detectando aquellos animales con mayor mérito tanto en ingresos como en costes e integrando en un mismo control ganaderías “comerciales” y de raza pura. Un conocimiento de las paternidades permitiría la separación del efecto manejo y el potencial genético de cada explotación. El 85% de los terneros nacidos en Irlanda, tanto de explotaciones de raza pura como comercial, tienen padre conocido.

Una de las claves para la futura competitividad de un programa de mejora genética será la aplicación de la genómica, ya que permite un incremento de la respuesta a la selección (debido a una reducción del intervalo generacional), sobre todo en caracteres funcionales. Como ejemplo, en vacuno de leche en España la implantación de la genómica ha supuesto un aumento de la respuesta a la selección en el periodo 2013-2018, el ICO ha aumentado en 821 puntos frente al periodo 2007-2012 en que aumentó en 423 puntos, esto implica un incremento de 164 puntos por año, lo que supone 16,4€ (Confederación Nacional de Frisona Española, 2018, comunicación personal). La implantación de la genómica en vacuno de carne se enfrenta a las debilidades expuestas por Berry *et al.* (2017). Es necesario un aumento de recogida de datos de los caracteres que influyen en la rentabilidad, mediante un aumento del número de animales en control y un mayor control de las genealogías que permita la utilización de la genómica en un medio plazo. En el programa español sería necesario aumentar las explotaciones en control, fomentar la recogida de genealogías en las explotaciones comerciales y mejorar o establecer una recogida de datos en granja realizada por el ganadero.

Por último, la selección por el índice de reposición conllevará una mejora de los caracteres funcionales y de producción, lo que producirá un impacto económico y ambiental debido al cambio en el tipo de animal de futuras generaciones. Según los resultados obtenidos, la mejora de los caracteres funcionales produciría una reducción de las emisiones por ternero comercializado. La reducción de periodos improductivos y el mantenimiento de un consumo adecuado tendrían un impacto positivo tanto económico como ambiental. La inclusión de la reducción de las emisiones procedente de vacuno de leche fue abordada en otros trabajos. Amer *et al.* (2017) desarrollaron una metodología para incorporar las emisiones en los índices de selección en vacuno de leche, con un enfoque similar al

realizado en esta tesis relacionando las emisiones producidas por unidad de producto y estimando las consecuencias que tendría sobre las emisiones el incremento de los caracteres seleccionados (por ejemplo, consumo de materia seca, producción de leche, reposición...). En vacuno de carne, Quinton *et al.* (2017) estimaron una diferencia de 162 kg de CO₂ /vaca/año entre las peores y las mejores nodrizas por el índice de reposición desarrollado en Irlanda. Habría que desarrollar trabajos que incluyan el carácter emisiones mediante medición directa y su relación con los demás caracteres incluidos en la selección. El programa de mejora de la rentabilidad ha de ir unido a un programa de reducción de las emisiones para obtener una ganadería eficiente.

8 CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. La función de beneficio proporciona resultados que permiten la comparación entre nodrizas, explotaciones o sistemas de producción, estableciendo posibles estrategias de mejora multidisciplinar.
2. Los resultados de este trabajo avalan la recomendación de la reducción de la edad al primer parto más allá de la actual de 3 años de edad, no habiendo ninguna consecuencia negativa en la vida productiva de la nodriza y en desarrollo ni valor de sus teneros. La reducción permitiría una disminución del coste de producción y una mejora de la productividad de la explotación, justificando su inclusión en los objetivos de los programas de mejora.
3. Se recomienda la utilización de una única ecuación de predicción de los caracteres de la canal para Blonda de Aquitania y Limusina, que incluya el peso a los 210 días y las valoraciones lineales, directamente relacionadas con los ingresos percibidos por la venta de la canal. Para el crecimiento canal, los caracteres a incluir serían seis, el peso a los 210 días y las anchuras de cruz y pecho, la profundidad de pecho y el grosor de las cañas y la rectitud de dorso, obteniendo predicciones fiables. Para la clasificación de la canal se incluirían las anchuras, de cruz, dorso, pecho, nalga y trocánteres, profundidad de pecho, redondez de nalga, longitud de pelvis, desarrollo y grosor de cañas, siendo necesario un total 10 calificaciones a recoger en ambas razas.
4. Los resultados de los modelos de predicción de la clasificación de la canal sugieren la incorporación de nuevos sistemas de clasificación objetivos que permitan una mayor diferenciación entre animales.
5. Se recomienda la implantación de dos índices de selección, el de reposición y el terminal. Dado el tipo de animal existente, el precio de la suplementación y el del kg de canal, en el índice de reposición los caracteres de reposición o funcionales tendrían una importancia en el índice del 48%, mientras que los caracteres de producción tendrían un 52%.
6. La selección por el índice de reposición implicaría una mejora de la rentabilidad, debido a una reducción de los periodos improductivos, a un consumo moderado y a una mejora de los caracteres de producción, con una mejora del crecimiento y la clasificación de la canal.
7. La selección por el índice terminal implicaría una mejora de los ingresos obtenidos por los animales destinados a sacrificio con una mejora de los caracteres de producción.
8. La selección solo por caracteres de producción implicaría un deterioro de los caracteres funcionales con un aumento del peso adulto y una prolongación de los periodos improductivos.
9. La inclusión de la tasa de carbono y el establecimiento de una cuota de emisiones reduciría la respuesta esperada de kg de CH₄/ternero comercializado/año.

10. La inclusión de la reducción de las emisiones de CH₄ en los objetivos de selección mediante la imposición de una tasa de carbono implicaría un aumento de la importancia de los caracteres funcionales, mientras que el establecimiento de una cuota aumentaría la importancia de los caracteres de producción.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Åby, B. A., Aass, L., Sehested, E., y Vangen, O. (2012). A bio-economic model for calculating economic values of traits for intensive y extensive beef cattle breeds. *Livestock Science*, 143(2), 259-269.
- Agabriel, J., y D'Hour, P. (2007). Alimentation des vaches allaitantes. Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA, Paris, 58-65.
- Afolayan, R. A., Deland, M. P. B., Rutley, D. L., Bottema, C. D. K., Ewers, A. L., Ponzoni, R. W., y Pitchford, W. S. (2002). Prediction of carcass meat, fat and bone yield across diverse cattle genotype using live-animal measurements. *Animal Production in Australia*, 24, 13-16.
- Afolayan, R. A., Pitchford, W. S., Deland, M. P. B., y McKiernan, W. A. (2007). Breed variation and genetic parameters for growth and body development in diverse beef cattle genotypes. *Animal*, 1(1), 13-20.
- Albera, A., Carnier, P., y Groen, A. F. (2004). Definition of a breeding goal for the Piemontese breed: economic and biological values and their sensitivity to production circumstances. *Livestock Production Science*, 89(1), 66-77.
- Albera, A., Mantovani, R., Bittante, G., Groen, A. F., y Carnier, P. (2001). Genetic parameters for daily live-weight gain, live fleshiness and bone thinness in station-tested Piemontese young bulls. *Animal Science*, 72(3), 449-456.
- Alderson, G. L. H. (1999). The development of a system of linear measurements to provide an assessment of type and function of beef cattle. *Animal Genetic Resources*, 25, 45-55.
- Allen, P. (2014). Beef Carcass Classification and Grading. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 307-315.
- Altarriba, J., Yagüe, G., Moreno, C., y Varona, L. (2009). Exploring the possibilities of genetic improvement from traceability data. *Livestock Science*, 125(2), 115-120.
- Amer, P. R., Emmans, G. C., y Simm, G. (1997). Economic values for carcass traits in UK commercial beef cattle. *Livestock Production Science*, 51(1-3), 267-281.
- Amer, P. R., Simm, G., Keane, M. G., Diskin, M. G., y Wickham, B. W. (2001). Breeding objectives for beef cattle in Ireland. *Livestock Science*, 67(3), 223-239.
- Amer, P. R. (2006). Approaches to formulating breeding objectives. *Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 13-18 August, 2006 (31-01). Instituto Prociência.
- Amer, P. R., Hely, F. S., Quinton, C. D., y Cromie, A. R. (2017). A methodology framework for weighting genetic traits that impact greenhouse gas emission intensities in selection indexes. *Animal*, 12(1), 5-11.
- Andrus, D. F., y McGilliard, L. D. (1975). Selection of Dairy Cattle for Overall Excellence 1. *Journal of Dairy Science*, 58(12), 1876-1879.
- Basarab, J. A., Okine, E. K., Baron, V. S., Marx, T., Ramsey, P., Ziegler, K., y Lyle, K. (2005). Methane emissions from enteric fermentation in Alberta's beef cattle population. *Canadian Journal of Animal Science*, 85(4), 501-512.

- Beauchemin, K. A., y McGinn, S. M. (2005). Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets 1. *Journal of Animal Science*, 83(3), 653-661.
- Bell, M. J., Pryce, J., y Wilson, P. (2016). A comparison of the economic value for enteric methane emissions with other biological traits associated with dairy cows. *American Research Journal of Agriculture*, 2, 1-17.
- Benyshek, L. L., y Marlowe, T. J. (1973). Estimating heritability of Hereford cow weights. *Journal of Animal Science*, 36(5), 854-861.
- Bernard, C. S., Fahmy, M. H., y Lalande, G. (1973). The influence of age at first calving and winter feeding management as yearlings on calf production from beef shorthorn cows. *Animal Science*, 17(1), 53-58.
- Berry, D. P., Shalloo, L., Cromie, A. R., Veerkamp, R. F., Dillion, P., Amer, P. R., y Wickham, B. (2007). The economic breeding index: a generation on. *Irish Cattle Breeding Federation*, 29-34.
- Berry, D. P., y Cromie, A. R. (2009). Associations between age at first calving and subsequent performance in Irish Spring calving Holstein–Friesian dairy cows. *Livestock Science*, 123(1), 44-54.
- Berry, D. P., y Evans, R. D. (2014). Genetics of reproductive performance in seasonal calving beef cows and its association with performance traits. *Journal of Animal Science*, 92(4), 1412-1422.
- Berry, D. P., Wall, E., y Pryce, J. E. (2014). Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal*, 8(s1), 105-121.
- Berry, D. P., Garcia, J. F., y Garrick, D. J. (2016). Development and implementation of genomic predictions in beef cattle. *Animal Frontiers*, 6, 32-38.
- Boligon, A. A., Albuquerque, L. G. D., Mercadante, M. E. Z., y Lobo, R. B. (2008). Models for genetic evaluation of Nellore cattle mature body weight 1. *Journal of Animal Science*, 86(11), 2840-2844.
- Boligon, A. A., Albuquerque, L. G. D., Mercadante, M. E. Z., y Lôbo, R. B. (2010). Study of relations among age at first calving, average weight gains and weights from weaning to maturity in Nellore cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(4), 746-751.
- Boligon, A. A., Mercadante, M. E. Z., y Albuquerque, L. G. D. (2011). Genetic associations of conformation, finishing precocity and muscling visual scores with mature weight in Nellore cattle. *Livestock Science*, 135(2), 238-243.
- Boligon, A. A., y Albuquerque, L. G. D. (2011). Genetic parameters and relationships of heifer pregnancy and age at first calving with weight gain, yearling and mature weight in Nellore cattle. *Livestock Science*, 141(1), 12-16.
- Bonin, M. N., Ferraz, J. B. S., Pedrosa, V. B., Silva, S. L., Gomes, R. C., Cucco, D. C., y Novais, F. J. (2015). Visual body-scores selection and its influence on body size and ultrasound carcass traits in Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 93(12), 5597-5606.
- Bouquet, A. (2008). Improvement of the efficiency of beef cattle breeding programs: towards new genetic. *Genetic Selection Evolution*, 39, 39-53.
- Bouquet, A., Fouilloux, M. N., Renand, G., y Phocas, F. (2010). Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young beef bulls. *Livestock Science*, 129(1), 38-48.

- Bourdon, R. M., y Brinks, J. S. (1982). Genetic, Environmental and Phenotypic Relationships among gestation length, birth weight, growth traits and age at first calving in beef cattle 1. *Journal of Animal Science*, 55(3), 543-553.
- Bourdon, R. M., y Brinks, J. S. (1987). Simulated efficiency of range beef production. III. Culling strategies and nontraditional management systems. *Journal of Animal Science*, 65(4), 963-969.
- Brascamp, E. W., Smith, C., y Guy, D. R. (1985). Derivation of economic weights from profit equations. *Animal Science*, 40(1), 175-179.
- Brinks, J. S., Clark, R. T., Kieffer, N. M., y Quesenberry, J. R. (1962). Mature weight in Hereford range cows—Heritability, repeatability, and relationship to calf performance. *Journal of Animal Science*, 21(3), 501-504.
- Caetano, S. L., Savegnago, R. P., Boligon, A. A., Ramos, S. B., Chud, T. C. S., Lôbo, R. B., y Munari, D. P. (2013). Estimates of genetic parameters for carcass, growth and reproductive traits in Nellore cattle. *Livestock Science*, 155(1), 1-7.
- Cambra-López, M., García Rebollar, P., Estellés, F., y Torres, A. (2008). Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano. *Archivos de zootecnia*, 57, 90.
- Cancian, P. H., Gomes, R. D. C., Manicardi, F. R., Ianni, A. C., Bonin, M. D. N., y Leme, P. R. (2014). Correlations of visual scores, carcass traits, feed efficiency and retail product yield in Nellore cattle. *Scientia Agricola*, 71(1), 17-22.
- CEE (1981). Council Regulation nº 2930/81. Community scale for the classification of carcass of adult bovine animals. Official Publications of the European communities, L-2985 Luxemburg.
- CEE (1991). Council Regulation nº 1026/91 of 22 April 1991 amending regulation (EEC) no 1208/81 determining the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. *Official Journal of the European Communities*, 106/L, 2-3.
- Chapman, H. D., Young, J. M., Morrison, E. G., y Edwards, N. C. (1978). Differences in Lifetime Productivity of Herefords Calving First at 2 and 3 Years of Age1. *Journal of Animal Science*, 46(5), 1159-1162.
- Charfeddine, N. (1998). Selección por mérito económico global en el ganado vacuno frisón en España. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica Madrid.
- Charfeddine, N., y Pérez-Cabal, M. A. (2014). Pesos económicos para actualizar el ICO. *Frisona Española*, 204, 36-39.
- Confederación Nacional de Frisona Española (2017). Evaluación genética nacional del vacuno frisón español. Disponible en: [http://213.0.29.171/IndicesGen/Docs/evaluaciones Metodologia y requisitos.pdf](http://213.0.29.171/IndicesGen/Docs/evaluaciones%20Metodologia%20y%20requisitos.pdf) (consulta: septiembre 2017).
- Confederación Nacional de Blonda de Aquitania (2018). Plan de mejora. Disponible en: <http://www.blondeaquitania.es/conaba/index.php/la-raza/plan-mejora> (consulta: septiembre 2017).
- Conroy, S. B., Drennan, M. J., Kenny, D. A., y McGee, M. (2010a). The relationship of various muscular and skeletal scores and ultrasound measurements in the live animal, and carcass classification scores with carcass composition and value of bulls. *Livestock Science*, 127(1), 11-21.

- Conroy, S. B., Drennan, M. J., McGee, M., Keane, M. G., Kenny, D. A., y Berry, D. P. (2010b). Predicting beef carcass meat, fat and bone proportions from carcass conformation and fat scores or hindquarter dissection. *Animal*, 4(2), 234-241.
- Craigie, C. R., Navajas, E. A., Purchas, R. W., Maltin, C. A., Bünger, L., Hoskin, S. O., ... y Roehe, R. (2012). A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. *Meat Science*, 92(4), 307-318.
- Craigie, C. R., Ross, D. W., Maltin, C. A., Purchas, R. W., Bünger, L., Roehe, R., y Morris, S. T. (2013). The relationship between video image analyses (VIA), visual classification, and saleable meat yield of sirloin and fillet cuts of beef carcasses differing in breed and gender. *Livestock Science*, 158(1), 169-178.
- Crowley, J. J., Evans, R. D., Mc Hugh, N., Kenny, D. A., McGee, M., Crews, D. H., and Berry, D. P. (2011). Genetic relationships between feed efficiency in growing males and beef cow performance. *Journal of Animal Science*, 89(11), 3372-3381.
- Day, M. L., y Anderson, L. H. (1998). Current concepts on the control of puberty in cattle. *Journal of Animal Science*, 76(3), 1-15.
- Day, M. L., y Nogueira, G. P. (2013). Management of age at puberty in beef heifers to optimize efficiency of beef production. *Animal Frontiers*, 3(4), 6-11.
- Day, M. L. (2015). Nutritional Effects on Beef Heifer Development, Puberty and Subsequent Reproduction. In *Florida Ruminant Nutrition Symposium*, 69.
- Daza-Andrada, A. (2014). Vacuno de carne con criterios económicos. Editorial Agrícola Española, Madrid, Spain, 163-168
- DECC. 2013. Updated short-term traded carbon values used for modelling purposes Updated short-term traded carbon values used for modelling purposes. 1–5. Disponible en: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/240099/short-term_traded_carbon_values_used_for_modelling_purposes_2013_URN.pdf (consulta: enero 2018).
- De Haas, Y., Windig, J. J., Calus, M. P. L., Dijkstra, J., De Haan, M., Bannink, A., y Veerkamp, R. F. (2011). Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of Dairy Science*, 94(12), 6122-6134.
- De Haas, Y., Veerkamp, R. F., Shalloo, L., Dillon, P., Kuipers, A., & Klopčič, M. (2013). Economic values for yield, survival, calving interval and beef daily gain for three breeds in Slovenia. *Livestock Science*, 157(2), 397-407.
- De Vries, A. G. (1989). A model to estimate economic values of traits in pig breeding. *Livestock Production Science*, 21(1), 49-66.
- Dickerson, G. (1970). Efficiency of animal production—molding the biological components. *Journal of Animal Science*, 30 (6), 849-859.
- Diskin, M. G., y Kenny, D. A. (2016). Managing the reproductive performance of beef cows. *Theriogenology*, 86(1), 379-387.

- Donoghue, K. A., Bird-Gardiner, T., Arthur, P. F., Herd, R. M., y Hegarty, R. F. (2016). Genetic and phenotypic variance and covariance components for methane emission and post weaning traits in Angus cattle. *Journal of Animal Science*, 94(4), 1438-1445.
- Drennan, M. J., McGee, M., y Keane, M. G. (2008). The value of muscular and skeletal scores in the live animal and carcass classification scores as indicators of carcass composition in cattle. *Animal*, 2(5), 752-760.
- Drennan, M. J., McGee, M., Conroy, S. B., Keane, M. G., Kenny, D. A., y Berry, D. P. (2009). The relationship between various live animal scores/measurements and carcass classification for conformation and fatness with meat yield and distribution, and ultimate carcass value. (RMIS No. 5369). Beef Production Series, 89. Teagasc, Carlow, Ireland.
- Etienne, A., Martínez-Valderrama, J., Díaz-Ambrona, H., y Gregorio, C. (2008). Productive model of evergreen oak and annual pastures in Extremadura (Spain). *Proceedings XII Meeting of the FAO-CIHEAM sub-network on Mediterranean pastures and fodder crops*, Zaragoza (Spain), 65-68.
- Falconer, D. S., y Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. Essex: Pearson Education Limited.
- FAO. (2016). Greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and other land use. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i6340e.pdf> (consulta: septiembre 2017).
- Federación Española de Criadores de Limusín. (2017). Programa de Mejora de la Raza Limusina. Disponible en: <http://www.razalimusin.org/templates/images/publicaciones-descargas/programa-de-mejora-raza-bovina-limusina.pdf> (consulta: septiembre 2017).
- Fox, J., y Weisberg, S. (2011). *An R companion to applied regression*. Sage Publications. Disponible en: [URL:http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion](http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion) (consulta: septiembre 2017).
- Gaspar, P., Mesías, F. J., Escribano, M., y Pulido, F. (2009). Sustainability in Spanish extensive farms (Dehesas): an economic and management indicator-based evaluation. *Rangeland Ecology and Management*, 62(2), 153-162.
- Gibbs, M.J., Da. Conneely, D. Johnson, K. R. Lasse, y Ulyatt, M. J. (1996). CH₄ Emissions from Enteric Fermentation. *Good Practices Guidelines Uncertain Management National Greenhouse Gas Inventory*, 297-320.
- Goldberger, A. S. (1962). Best linear unbiased prediction in the generalized linear regression model. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), 369-375.
- González-Rodríguez, A., Altarriba, J., Moreno, C., y Varona, L. (2011). Análisis genético multicarácter del crecimiento en vacuno Pirenaico. *Información Técnica Económica Agraria*, 2, 458-460.
- Goyache, F., y Gutiérrez, J. P. (2001). Heritability of reproductive traits in Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Archives Animal Breeding*, 44(5), 489-496.
- Groeneveld, E. (2010). VCE user's guide and reference manual version 6.0. Disponible en: <ftp://ftp.tzv.fal.de/pub/vce6/doc/vce6-manual-3.1-A4.pdf>. (consulta: septiembre 2017)
- Groen, A. F. (1988). Derivation of economic values in cattle breeding: A model at farm level. *Agricultural Systems*, 27(3), 195-213.

- Gutiérrez, J. P., Álvarez, I., Fernández, I., Royo, L. J., Díez, J., y Goyache, F. (2002). Genetic relationships between calving date, calving interval, age at first calving and type traits in beef cattle. *Livestock Production Science*, 78(3), 215-222.
- Gutiérrez, J. P., Goyache, F., Fernández, I., Álvarez, I., y Royo, L. J. (2007). Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight, and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed 1. *Journal of Animal Science*, 85(1), 69-75.
- Harris, D. L. (1970). Breeding for Efficiency in Livestock Production: Defining the Economic Objectives 1. *Journal of Animal Science*, 30(6), 860-865.
- Harris, D. L., y Newman, S. (1994). Breeding for profit: synergism between genetic improvement and livestock production (a review). *Journal of Animal Science*, 72(8), 2178-2200.
- Hayes, B. J., Donoghue, K. A., Reich, C. M., Mason, B. A., Bird-Gardiner, T., Herd, R. M., y Arthur, P. F. (2016). Genomic heritabilities and genomic estimated breeding values for methane traits in Angus cattle. *Journal of Animal Science*, 94(3), 902-908.
- Hazel, L. N. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28(6), 476-490.
- Henderson, C. R. (1963). Selection index and expected genetic advance. *Statistical Genetics and Plant Breeding*, 982, 141-163.
- Herd, R. M., Arthur, P. F., Bird, S. H., Donoghue, K. A., y Hegarty, R. S. (2014). Genetic variation for methane traits in beef cattle. In *Proceedings of the 10th world congress of genetics applied to livestock production*. Paper (Vol. 38).
- Hirooka, H., Groen, A. F., y Hillers, J. (1998). Developing breeding objectives for beef cattle production 2. Biological and economic values of growth and carcass traits in Japan. *Animal Science*, 66(3), 623-633.
- Ho, C., Nessler, R., Doyle, P., and Malcolm, B. (2005). Future dairy farming systems in irrigation regions. *Australian Farm Business Management Journal*, 2(1), 59.
- Irish Breeding Cattle Federation. (2017). PG Technicians Tully Visit. Disponible en: https://www.icbf.com/wp/wp-content/uploads/2013/06/PG_Technicians_Oct_2017.pdf (Accedido January 2018).
- Irish Breeding Cattle Federation. (2018a). Euro-Star index explained. Disponible en: <https://www.icbf.com/wp/?p=9778> (consulta: enero 2018)
- Irish Breeding Cattle Federation. (2018b). The Irish Beef Genomics Scheme. Disponible en: https://www.icbf.com/wp/wp-content/uploads/2017/07/ISAG_170717.pdf (Accedido enero 2018)
- Change, I. P. O. C. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2013-04-28. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (Accedido enero 2018).
- Jarrige, R. (1988). Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA. Paris, 356-434.
- Johnson, K. A., y Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483-2492.
- Kahi, A. K., Oguni, T., Sumio, Y., y Hirooka, H. (2007). Genetic relationships between growth and carcass traits and profitability in Japanese Brown cattle 1. *Journal of Animal Science*, 85(2), 348-355.

- Kilpatrick, D. J., y Steen, R. W. J. (1999). A predictive model for beef cattle growth and carcass composition. *Agricultural systems*, 61(2), 95-107.
- Kluyts, J. F., Naser, F. W. C., y Bradfield, M. J. (2003). Development of breeding objectives for beef cattle breeding: Derivation of economic values. *South African Journal of Animal Science*, 33(3), 142-158.
- Koots, K. R., y Gibson, J. P. (1998). Economic values for beef production traits from a herd level bioeconomic model. *Canadian Journal of Animal Science*, 78(1), 29-45.
- Koots, K. R. (1994). Analyses of published genetic parameter estimates for beef production traits. 1. Heritability. In *Animal Breeding Abstracts*. 62, 309-338.
- Kulak, K., Wilton, J., Fox, G., y Dekkers, J. (2003). Comparisons of economic values with and without risk for livestock trait improvement. *Livestock Production Science*, 79(2), 183-191.
- Kuznetsova, A., P. B. Brockhoff, y Christensen, R. H. B. (2016). lmerTest: tests for random and fixed effects for linear mixed effect models. R Package. Version 2.0-30. Disponible en: <http://cran.r-project.org/package=lmerTest> (consulta: septiembre 2017).
- Lazzaroni, C., Gigli, S., y Gabina, D. (2007). Evaluation of Carcass and meat Quality in Cattle and Sheep. Wageningen Academic Publishers. 175. <https://books.google.co.id/books?id=1-l8joALiGUC>
- Legarra, A., L. Varona, y E. Lopez de Maturana. (2011). TM Threshold Model. Disponible en: <http://snp.toulouse.inra.fr/~alegarra/manualtm.pdf>. (consulta: marzo 2018)
- Lenth, R. V. (2016). Least-squares means: the R package lsmeans. *Journal of statistical software*, 69(1), 1-33.
- L'Institut de l'Elevage. (2017). Methodes et resultats de l'évaluation IBOVAL 2017 pour les races bovines a viande. Disponible en: <http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/inosys-reseaux414delevage/publication/idelesolr/recommends/methodes-et-resultats-de-levaluation-iboval-2017-415-pour-les-races-bovines-a-viande.html>. (consulta: septiembre 2017).
- López-Paredes, J., and Alenda, R. (2015). Propuestas para la mejora de la rentabilidad del vacuno de carne en España. *Revista Producción Animal* nº 289. Disponible en: <http://www.produccionanimal.com/propuestas-de-mejora-de-la-rentabilidad-de-las-explotaciones-de-nodrizas-en-espana/> (consulta: septiembre 2017).
- López-Paredes, J., Jiménez-Montero, J.A., y Alenda, R. (2016). Utilización del control de rendimientos de la raza Blonda de Aquitania. Disponible en: <http://feagas.com/mejora-rentabilidad-explotaciones-blonda/> (consulta: marzo 2018).
- López-Paredes, J., Jiménez-Montero, J. A., Pérez-Cabal, M. A., González-Recio, O., y Alenda, R. (2017a). Selection of carcass growth in beef cattle Limousine. XVII Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza, España, 30 y 31 de mayo de 2017, 528-530.
- López-Paredes, J., y Alenda, R. (2017b) ¿Cuál es la repercusión de los problemas de parto sobre los datos productivos y la rentabilidad en la raza Pirenaica? Disponible en: <http://www.conaspi.net/verdocumento.asp?iddoc=7226> (consulta: marzo 2018).

- MacNeil, M. D., Newman, S., Enns, R. M., y Stewart-Smith, J. (1994). Relative economic values for Canadian beef production using specialized sire and dam lines. *Canadian Journal of Animal Science*, 74(3), 411-417.
- MacNeil, M. D., y Matjuda, L. E. (2007). Breeding objectives for Angus and Charolais specialized sire lines for use in the emerging sector of South African beef production. *South African Journal of Animal Science*, 37(1), 1-10.
- MAPAMA, 2014. Estudio del sector español de vacas nodrizas. Datos SITRAN 2014. Subdirección General de Productos Ganaderos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/estudio_nodrizas_2014_tcm7-267234.pdf (consulta: septiembre 2017).
- MAPAMA, 2018. Estudio del sector español de vacas nodrizas. Datos SITRAN 2017. Subdirección General de Productos Ganaderos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España. Disponible en: <http://www.upa.es/upa/depot/documentos/86961412cf316141519223974.pdf> (consulta: marzo 2018).
- MAPAMA, 2018. Registro: Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN). <http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/temas/trazabilidad-animal/registro/default.aspx> (consulta: septiembre 2017).
- Martin, L. C., Brinks, J. S., Bourdon, R. M., y Cundiff, L. V. (1992). Genetic effects on beef heifer puberty and subsequent reproduction. *Journal of Animal Science*, 70(12), 4006-4017.
- Matilainen, K., Mrode, R., Strandén, I., Thompson, R., y Mäntysaari, E. A. (2009). Linear-threshold animal model for birth weight, gestation length and calving ease in United Kingdom Limousin beef cattle data. *Livestock Science*, 122(2), 143-148.
- Meyer, K. (1995). Estimates of genetic parameters for mature weight of Australian beef cows and its relationship to early growth and skeletal measures. *Livestock Production Science*, 44(2), 125-137.
- Meyer, K. (1997). Estimates of genetic parameters for weaning weight of beef cattle accounting for direct-maternal environmental covariances. *Livestock Production Science*, 52(3), 187-199.
- Meyer, K. (2007). Multivariate analyses of carcass traits for Angus cattle fitting reduced rank and factor analytic models. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 124(2), 50-64.
- Minick Bormann, J., y Wilson, D. E. (2010). Calving day and age at first calving in Angus heifers. *Journal of Animal Science*, 88(6), 1947-1956.
- Moav, R. (1973). Economic evaluation of genetic differences. In *Agricultural Genetics* (ed. Moav Rom), 319-352. John Wiley, New York.
- Morris, C. A. (1980). A review of relationships between aspects of reproduction in beef heifers and their lifetime production. 1. Associations with fertility in the first joining season and with age at first joining. In *Animal Breeding Abstracts*, 48 (10), 655-676.

- Morris, C. A., Wilson, J. A., Bennett, G. L., Cullen, N. G., Hickey, S. M., y Hunter, J. C. (2000). Genetic parameters for growth, puberty, and beef cow reproductive traits in a puberty selection experiment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(1), 83-91.
- National Research Council, y NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Nutritional Requirements Beef Cattle. 249. Disponible en: <https://www.nap.edu/catalog/9791/nutrient-requirements-of-beef-cattle-seventh-revised-edition-update-2000>.
- Nielsen, H. M., Amer, P. R., y Byrne, T. J. (2014). Approaches to formulating practical breeding objectives for animal production systems. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 64(1), 2-12.
- Olea, L., y San Miguel-Ayanz, A. (2006). The Spanish Dehesa. A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. In 21st General Meeting of the European Grassland Federation.
- Patterson, D. J., Wood, S. L., y Randle, R. F. (2000). Procedures that support reproductive management of replacement beef heifers¹. *Journal of Animal Science*, 77 (E-Suppl), 1-15.
- Pena, J. R., Alenda, R., Carabaño, M. J., y Jurado, J. J. (1992). Evaluación genética nacional del vacuno frisón español. *Bovinotecnia*, 7, 187.
- Pérez, M. A., Hernández, D., Alenda, R., Carabano, M. J., y Charfeddine, N. (1999). Genetic analysis of true profit for Spanish dairy cattle. *Interbull bulletin*, (23), 107.
- Phetteplace, H. W., Johnson, D. E., y Seidl, A. F. (2001). Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 60(1-3), 99-102.
- Phocas, F., Bloch, C., Chapelle, P., Bécherel, F., Renand, G., y Ménissier, F. (1998). Developing a breeding objective for a French purebred beef cattle selection programme¹. *Livestock Production Science*, 57(1), 49-65.
- Phocas, F., y Laloë, D. (2003). Evaluation models and genetic parameters for calving difficulty in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81(4), 933-938.
- Phocas, F., y Sapa, J. (2004). Genetic parameters for growth, reproductive performance, calving ease and suckling performance in beef cattle heifers. *Animal Science*, 79(1), 41-48.
- Phocas, F. (2009). Genetic analysis of breeding traits in a Charolais cattle population segregating an inactive myostatin allele. *Journal of Animal Science*, 87(6), 1865-1871.
- Ponzoni, R. W., y Newman, S. (1989). Developing breeding objectives for Australian beef cattle production. *Animal Science*, 49(1), 35-47.
- Pravia, M. I., Ravagnolo, O., Urioste, J. I., y Garrick, D. J. (2014a). Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay. *Livestock Science*, 160, 21-28.
- Pryce, J. E., Wales, W. J., De Haas, Y., Veerkamp, R. F., y Hayes, B. J. (2014). Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle. *Animal* 8: 1–10.
- Quinton, C. D., Hely, F. S., Amer, P. R., Byrne, T. J., y Cromie, A. R. (2017). Prediction of effects of beef selection indexes on greenhouse gas emissions. *Animal*, 1-9.
- R Development, C.O.R.E. (2012). TEAM 2009: R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. Internet: <http://www.R-project.org>.

- Ronningen, K. (1971). Tables for estimating the loss in efficiency when selecting according to an index based on a false economic ratio between two traits. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 21(1), 33-49.
- Roughsedge, T., Amer, P. R., Thompson, R., y Simm, G. (2005). Genetic parameters for a maternal breeding goal in beef production¹. *Journal of Animal Science*, 83(10), 2319-2329.
- Sanz, A., Bernués, A., Villalba, D., Casasús, I., y Revilla, R. (2004). Influence of management and nutrition on postpartum interval in Brown Swiss and Pirenaica cows. *Livestock Production Science*, 86(1), 179-191.
- Smith, C., James, J. W., y Brascamp, E. W. (1986). On the derivation of economic weights in livestock improvement. *Animal Science*, 43(3), 545-551.
- Short, R. E., Staigmiller, R. B., Bellows, R. A., y Greer, R. C. (1994). Breeding heifers at one year of age: biological and economic considerations. *FIELDS, MJ; SANDS, RS Factors affecting calf crop*. Boca Raton: CRC, 55-68.
- United States Environmental Protection Agency, (2000). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks : 1990-1998. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-1998> (consulta: enero 2018)
- Tatum, J. D., Dolezal, H. G., Williams Jr, F. L., Bowling, R. A., y Taylor, R. E. (1986). Effects of feeder-cattle frame size and muscle thickness on subsequent growth and carcass development. II. Absolute growth and associated changes in carcass composition. *Journal of Animal Science*, 62(1), 121-131.
- Tess, M. W., y Davis, K. C. (2002). Gordon Dickerson: Defining economic efficiency of beef production. In *Annual Research Symposium and Annual Meeting* (Vol. 34, pp. 21-31).
- Toral, F. L. B., Roso, V. M., de Araújo, C. V., y Reis Filho, J. C. (2011). Genetic parameters and response to selection for post-weaning weight gain, visual scores and carcass traits in Hereford and Hereford× Nellore cattle. *Livestock Science*, 137(1), 231-237.
- United Nations, Department of Economics and Social Affairs, Population Division. 2010. World population prospects: The 2010 Revision, Volume II: Demographic profiles. Disponible en: <http://esa.un.org/wpp/Documentation/publications.htm> (consulta: septiembre 2017).
- Van der Werf, J. H. J. (2011). Multiple Trait Selection Index 20 Trait version Disponible en: <https://jvanderw.une.edu.au/software.htm> (consulta: septiembre 2017).
- Varona, L., Misztal, I., y Bertrand, J. K. (1999). Threshold-linear versus linear-linear analysis of birth weight and calving ease using an animal model: I. Variance component estimation. *Journal of Animal Science*, 77(8), 1994-2002.
- Venables, W. N., y Ripley, B. D. (2013). *Modern applied statistics with S-PLUS*. Springer Science and Business Media.
- Vermorel, M. (1978). Feed evaluation for ruminants. II. The new energy systems proposed in France. *Livestock Science*, 5(4), 347-365.
- De Vries, A. G. (1989). A model to estimate economic values of traits in pig breeding. *Livestock Production Science*, 21(1), 49-66.

- Wolfová, M., Wolf, J., Přibyl, J., Zahrádková, R., y Kica, J. (2005a). Breeding objectives for beef cattle used in different production systems: 1. Model development. *Livestock Production Science*, 95(3), 201-215.
- Wolfová, M., Wolf, J., Zahrádková, R., Přibyl, J., Daňo, J., Krupa, E., y Kica, J. (2005b). Breeding objectives for beef cattle used in different production systems: 2. Model application to production systems with the Charolais breed. *Livestock Production Science*, 95(3), 217-230.
- Woodward, B. W., Pollak, E. J., y Quaas, R. L. (1992). Parameter estimation for carcass traits including growth information of Simmental beef cattle using restricted maximum likelihood with a multiple-trait model. *Journal of Animal Science*, 70(4), 1098-1109.

APÉNDICES

Apéndice 1: Desarrollo de la función de beneficio

En este apartado se describe la elaboración de la función de beneficio para el sistema de producción a partir de los caracteres considerados.

Margen

La función de beneficio se definió como la diferencia entre los ingresos y costes por ternero comercializado y año. El margen por ternero comercializado y año (*Margen*) se calculó como:

$$Margen = (I_T - C_{CEBO} - C_{PROD}) \quad \text{Ecuación A.1}$$

Donde I_T son los ingresos por la venta del ternero comercializado, C_{CEBO} es el coste de cebo del ternero y C_{PROD} es el coste de producción, expresados en €/ternero comercializado/año

Ingresos

Los ingresos por ternero comercializado y año fueron calculados como:

$$I_T = PC_a \times p_a \times c_s \quad \text{Ecuación A.2}$$

Donde PC_a es el peso canal (kg) de un ternero medio, p_a es el precio medio del kg de canal (determinado por la clasificación de la canal) y c_s es el ratio de 365 entre la edad al sacrificio del ternero.

El peso canal se calculó como la media ponderada del peso canal de machos y hembras, siguiendo la siguiente ecuación:

$$PC_a = \sum_{s=1}^2 PC_s \times f_s \quad \text{Ecuación A.3}$$

Donde PC_s es el peso canal de machos o hembras (el subíndice s indica el sexo, s = 1 machos y s = 2 hembras), f_s es la proporción de animales comercializados de cada sexo. En caso de no disponer del dato de peso canal, PC_a se estimaría siguiendo la siguiente ecuación:

$$PC_a = \sum_{s=1}^2 (PS_s \times \eta_s) \times f_s \quad \text{Ecuación A.4}$$

Donde PS_s es el peso vivo al sacrificio, η_s es el rendimiento canal y f_s es la proporción de animales comercializados para cada sexo. El peso al sacrificio se calcula para cada sexo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PS_s = (PN_s + GMDd_s \times ED_s + GMDc_s \times Dcebo_s) \quad \text{Ecuación A.5}$$

Donde PN_s es peso al nacimiento, $GMDd_s$ es la ganancia media diaria hasta el destete, ED_s es edad al destete, $GMDc_s$ es la ganancia media diaria durante el cebo, $Dcebo_s$ es la duración del cebo.

El precio del kg canal medio se calcula como:

$$p_a = \sum_{s=1}^2 p(CC)_s \times f_s \quad \text{Ecuación A.6}$$

Donde $p(CC)_s$ es el precio dependiente de la clasificación de la canal (CC) determinado por la clasificación SEUROP (CEE, 1981 y 1991) y f_s es la proporción de animales sacrificados de cada sexo.

El ratio entre machos y hembras depende de la tasa de reposición del rebaño. El porcentaje de animales nacidos de cada sexo fue asumido como el 50% y la mortalidad entre machos y hembras se asumió igual. El ratio f_s (f_1 = machos y f_2 : hembras) fue calculado como:

$$\begin{aligned} f_1 &= 0.50 \times (1 + R) \\ f_2 &= 0.50 \times (1 - R) \end{aligned} \quad \text{Ecuación A.7}$$

Donde R es la tasa de reposición por parto, definida como el número de novillas destinadas a reposición por nodriza y parto para mantener constante el tamaño del rebaño. Este valor depende de la longevidad, medida como el número de partos de una nodriza a lo largo de su vida productiva (Np), y se calcularon como:

$$R = \frac{1}{Np} \quad \text{Ecuación A.8}$$

$$Np = \left(\frac{EUP - EPP}{IPP} \right) + 1 \quad \text{Ecuación A.9}$$

Donde EUP es la edad al último parto, EPP es la edad al primer parto e IPP es el intervalo entre partos.

Coste de cebo

El coste de cebo por ternero comercializado se calculó como la suma de las necesidades energéticas desde el destete hasta el sacrificio para satisfacer las necesidades de mantenimiento y crecimiento, multiplicadas por el precio de la unidad energética. Las necesidades energéticas fueron calculadas de acuerdo al NRC (2000). Las necesidades energéticas se expresaron en UFC por ternero y

día (Vermorel, 1978) en función de la ganancia media diaria en cebo y el peso metabólico (1UFC=1.820 kcal energía neta). El cálculo de C_{CEBO} se calculó como:

$$C_{CEBO} = \sum_{i=ED}^{esac} (p_{UFC} \times NEC_{di}) \times c_s \quad \text{Ecuación A.10}$$

Donde p_{UFC} es el precio de la UFC, $NECd$ son las necesidades energéticas de mantenimiento y crecimiento diarias, calculadas en función del peso vivo del ternero y la $GMDc$ y c_s es el ratio de 365 entre la edad al sacrificio del ternero. Las $NECd$ se calcularon como la media ponderada entre machos y hembras de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$NECd = \sum_{s=1}^2 f_s \times NEC_{ds} \quad \text{Ecuación A.11}$$

Donde f_s es el ratio entre machos y hembras y NEC_{ds} son las necesidades energéticas diarias para cada sexo.

Coste de producción

El coste de producción se definió como el coste de alimentación para satisfacer las necesidades energéticas de los animales de la explotación, rebaño de vacas (novillas de reposición, nodrizas y vacas de desecho) menos los ingresos generados por la venta de vacas de desecho. El coste de producción se expresó en €/ ternero comercializado/año y se calculó como:

$$C_{PROD} = \left(\frac{C_{alim} - I_{VD}}{Productividad} \right) \times c_s \quad \text{Ecuación A.12}$$

Donde C_{alim} es el coste de alimentación, I_{VD} son los ingresos percibidos por la venta de vacas de desecho, expresados en euros por vaca y año, $Productividad$ es el número de terneros comercializados por vaca y año y c_s es el ratio de 365 entre la edad al sacrificio del ternero.

El coste de alimentación fue definido como la suma de las necesidades energéticas de acuerdo a los diferentes estados fisiológicos (novillas, nodrizas y vacas de desecho). Las necesidades energéticas para novillas, nodrizas y vacas de desecho fueron estimadas de acuerdo a Jarrige (1988) y Agabriel y D'Hour (2007). Si el control de rendimientos tuviese registrada la compra de alimento y el censo de animales de la explotación, se podría incluir directamente esta información, estimando el

coste de suplementación por nodriza. En este trabajo, al no disponer de esa información, el coste de suplementación se calculó como:

$$C_{alim} = (NE_N + NE_R) \times p_{UFL} + NE_{VD} \times p_{UFC} \quad \text{Ecuación A.13}$$

Donde NE_N son las necesidades energéticas anuales de la nodriza, NE_R son las necesidades energéticas de la reposición (novillas desde el destete hasta su primer parto), expresadas en UFL por nodriza y año (UFL= 1.700 kcal Energía Neta), p_{UFL} es el precio de 1 UFL, NE_{VD} son las necesidades energéticas de vacas de desecho durante el cebo y p_{UFC} es el precio de 1 UFC.

Las necesidades energéticas de las nodrizas: incluyeron las necesidades energéticas de mantenimiento, gestación y lactación y se expresaron por vaca y año calculadas como:

$$NE_N = F \times \left(NE_{Md} \times (IPP - 120 - ED) + \sum_1^4 NE_{Gdi} \times 30 + NE_{Ld} \times ED \right) \quad \text{Ecuación A.14}$$

Donde F es el número de partos por vaca y año; NE_{Gdi} , NE_{Md} , y NE_{Ld} son las necesidades energéticas diarias en el periodo de mantenimiento, gestación (últimos 4 meses de gestación) y lactación (desde el parto hasta el destete), respectivamente. IPP es el intervalo entre partos., ED es la edad al destete.

Las necesidades se estimaron utilizando las ecuaciones de INRA (1988) y Agabriel y D'Hour (2007) y se describen a continuación:

- Las NE_{Md} son las necesidades energéticas diarias por vaca para satisfacer los requerimientos energéticos en mantenimiento (período fuera de lactación y último tercio de gestación). De acuerdo a Agabriel y D'Hour (2007) dependen del peso adulto, factor de pastoreo (1,1 en manejo intensivo y 1,2 en manejo extensivo) y la condición corporal (1-5). Para este trabajo se asumió manejo extensivo (factor de pastoreo =1,2) y condición corporal de 3.
- Las NE_{Gd} son las necesidades energéticas diarias para satisfacer por vaca nodriza durante el último tercio de gestación (incluyendo las necesidades energéticas de mantenimiento y de gestación). Son función del peso adulto, la condición corporal, el factor de pastoreo y el peso al nacimiento (Agabriel y D'Hour, 2007). Las necesidades energéticas se incrementaron según el mes de gestación: 0,7 x PN/40 UFL/día en el sexto mes de gestación, 1,7 x PN/40 UFL/día en el séptimo mes de gestación, 2,6 x PN/40 UFL/día en el octavo mes de gestación. En el último mes de gestación solo se incluyen las necesidades de mantenimiento, con valores obtenidos de Daza-Andrada (2014) y Agabriel y D'Hour (2007).

- Las NE_{Ld} son las necesidades energéticas diarias por vaca nodriza durante la lactación (se consideran las necesidades energéticas de mantenimiento y de lactación) y son función del peso adulto, el factor de pastoreo y la producción de leche de la nodriza). Se considera un consumo suplementario del ternero durante la lactación de 135 UFL (Daza-Andrada, 2014).

Las necesidades energéticas de novillas de reposición están expresadas en UFL por vaca nodriza y año, incluyendo las necesidades energéticas anuales de mantenimiento y crecimiento hasta el primer parto. Fueron calculadas como:

$$NE_R = R_a \times N_l \times \left(1 + \frac{m_R}{2}\right) \times NE_{Rd} \times 365 \quad \text{Ecuación A.15}$$

Donde R_a es la tasa de reposición anual (número de nodrizas destinadas a reposición por vaca y año), N_l es el número de lotes de nodrizas, m_R es la tasa de mortalidad de las nodrizas (se asume el mismo valor que la mortalidad adulta) y NE_{Rd} son las necesidades energéticas medias diarias de la nodriza, que dependen de la ganancia media diaria necesaria para alcanzar el 65% del peso adulto de la nodriza en la primera cubrición, de acuerdo a Daza-Andrada (2014) y Agabriel y D'Hour (2007).

La tasa de reposición anual se calculó como:

$$R_a = F \times R \quad \text{Ecuación A.16}$$

Donde F es el número de partos por vaca y año y R es la tasa de reposición por nodriza, calculado en la Ecuación A.8.

El número de lotes de novillas se calculó como:

$$N_l = \frac{EPP - ED}{365} \quad \text{Ecuación A.17}$$

Donde EPP es edad al primer parto y ED edad al destete.

El número de partos por vaca y año o fertilidad se calculó como:

$$F = 365 / IPP \quad \text{Ecuación A.18}$$

Las necesidades energéticas de vaca de desecho durante su período de cebo, expresadas en UFC por vaca nodriza y día y se calcularon como:

$$NE_{VD} = R_{VD} \times NE_{VDd} \times D_c \quad \text{Ecuación A.19}$$

Donde R_D es la tasa de desecho, NE_{VDd} son las necesidades energéticas diarias (UFC/d) y D_c es la duración del cebo.

La tasa de desecho se calculó como:

$$R_{VD} = R_A \times (1 - m_{ac}) \quad \text{Ecuación A.20}$$

Donde R_{VD} es la tasa de reposición anual y m_{ac} es la mortalidad acumulada, que es función de EUP , EPP y la mortalidad adulta.

Los ingresos por vaca de desecho (I_{VD}), percibidos por la venta de vacas de desecho después de un período de cebo, se expresaron en €/vaca nodriza/año y fueron calculados como:

$$I_{VD} = R_{VD} \times PC_{VD} \times p_2 \quad \text{Ecuación A.21}$$

Donde R_{VD} es la tasa de desecho, PC_{VD} es el peso canal de la vacas de desecho y p_2 es el precio por kg de canal de vaca de desecho.

La productividad se definió como el número de terneros comercializado por vaca nodriza y año y se calculó como:

$$Productividad = F \times (1 - m_{nac} - m_{dest}) \times (1 - R) \times (1 - m_{cebo}) \quad \text{Ecuación A.22}$$

Donde F es número de partos por vaca y año o fertilidad, m_{nac} es la mortalidad al nacimiento (0-48h), m_{dest} es la mortalidad desde el nacimiento hasta el destete, R es la tasa de reposición por parto y m_{cebo} es la mortalidad durante el cebo.

Apéndice 2: Estimación del peso adulto

El peso adulto es básico en los programas de mejora debido a su relación con la rentabilidad influye en los costes de producción, determinando las necesidades energéticas del animal y en los ingresos, por su influencia en el peso de sacrificio. El peso vivo tiene oscilaciones a lo largo del año debido a la variación de la condición corporal, el estado fisiológico o la ingestión de alimento, por lo que se podría obtener mediante una predicción basada en diversos caracteres.

En este apartado se realizó una estimación/predicción a partir de la valoración genética del carácter peso canal de desecho. Para la valoración se realizó una valoración multicaracter incluyendo además del peso canal de los animales de desecho, las valoraciones lineales de anchura de la cruz, rectitud de dorso, longitud de dorso, longitud de pelvis y anchura de trocánteres, el peso vivo ajustado a 210 días, el crecimiento canal y la clasificación canal de los animales sacrificados entre 10 y 18 meses y el peso canal de desecho.

A partir del valor genético del peso canal de desecho obtenido en la valoración multicaracter se obtuvieron las diferencias en kg de canal de desecho que fueron transformadas a diferencias de peso vivo adulto asumiendo un rendimiento canal del 56% y una relación entre el peso vivo al sacrificio y el peso vivo adulto del 80%. Una vez establecidas las diferencias de peso vivo adulto se asumió un peso medio de las nodrizas de 648 kg y se estimaron los pesos adultos para las nodrizas de la raza Blonda de Aquitania que tuvieron partos en el último año.

Población utilizada

Se utilizó la información de la raza Blonda de Aquitania, proporcionada por CONABA, de los caracteres, peso ajustado a los 210 días, las valoraciones lineales de anchura de cruz, longitud de dorso, longitud de pelvis, rectitud de dorso, anchura de trocánteres, crecimiento canal del ternero, conformación del ternero y peso canal de desecho (Tabla A.1).

Tabla A.1. Media (desviación estándar), número de datos, número de rebaños y años de información utilizados para cada uno de los caracteres.

	Media (d.e)	Nº datos ¹	Nº rebaños	Años
Anchura cruz	5,71 (1,28)	3.038	27	2002-2016
Longitud dorso	6,79 (1,28)	3.038	27	2002-2016
Rectitud dorso	6,30 (1,45)	3.038	27	2002-2016
Longitud pelvis	6,22 (1,29)	3.038	27	2002-2016
Anchura trocánteres	6,53(1,11)	3.038	27	2002-2016
Peso 210 días (kg)	291,10 (55,19)	8.718	136	2000-2016
Peso canal vaca de desecho (kg)	465,9 (116,9)	1.401	70	2004-2016
Crecimiento diario de la canal (kg/d)	0,893 (0,153)	8.388	90	2004-2016
Clasificación de la canal (1-15)	9,59 (1,47)	8.407	90	2004-2016

¹ Solo se consideraron los registros de aquellos grupos de comparación (rebaño-año) con al menos 3 datos.

Metodología

Los componentes de varianza se estimaron utilizando regresión Bayesiana en una valoración multicaracter. Los efectos considerados se exponen en la Tabla A.2 incluyendo un total de 60.358 animales en pedigrí. Los análisis fueron realizados utilizando el programa TM (Legarra et al., 2011) guardando 50.000 muestras de la distribución marginal descartando las primeras 10.000 como “burn-in”. Las valoraciones lineales se registraron por un único calificador y por eso no se incluyó el efecto calificador en el modelo.

Tabla A.2. Efectos fijos y aleatorios considerados en los modelos de valoración genética de cada uno de los caracteres.

Carácter	Efectos considerados en el modelo						
	Rebaño-año	Estación	Nº parto	Sexo	Situación	Matadero	Edad
Valoraciones lineales ¹	X	X	X	X	X	-	-
Peso al destete	X	X	X	X	-	-	-
Crecimiento canal diario	X	X	X	X	-	X	X
Clasificación canal	X	X	X	X	-	X	X
Peso canal desecho	X	X	-	X	-	X	X

¹ valoraciones lineales: Anchura de cruz, longitud de dorso, longitud de pelvis, rectitud de dorso, anchura de trocánteres

Primero, se realizó una valoración BLUP para estimar los valores genéticos del carácter peso canal de desecho. Después de la valoración se estimó el peso vivo adulto a partir del peso canal de desecho obtenido. Para estimar el peso vivo adulto se supuso un 56% de rendimiento canal para la nodriza y una relación entre el peso vivo estimado y el peso vivo adulto del 80%.

Resultados

Parámetros genéticos

Los componentes de varianza estimados se muestran en la Tabla A.3 y A.4

Tabla A.3. Heredabilidad (diagonal) y correlaciones genéticas entre los caracteres incluidos en la valoración multicaracter (fuera de la diagonal).

	AC	LD	LP	RD	AT	P210	CG	CC	PC _{VD}
AC	0,33	0,11	0,04	0,34	-0,33	0,24	0,44	0,40	-0,27
LD	-	0,25	0,94	0,12	0,12	0,55	-0,21	0,53	0,39
LP	-	-	0,23	0,05	0,11	0,50	-0,25	0,51	0,22
RD	-	-	-	0,09	-0,35	0,16	0,25	0,18	-0,16
AT	-	-	-	-	0,11	-0,14	-0,30	-0,19	0,03
P210	-	-	-	-	-	0,28	-0,07	0,56	0,43
CC	-	-	-	-	-	-	0,31	0,19	0,04
CG	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,36
PC	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27

AC: anchura cruz; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; RD: rectitud dorso; AT: anchura trocánteres; P210: peso vivo a 210 días; CC: clasificación canal ternero; CG: crecimiento canal; PC_{VD}: peso canal vaca desecho.

Tabla A.4. Varianza aditiva (diagonal) y covarianzas genéticas entre los caracteres incluidos en la valoración multicaracter (fuera de la diagonal).

	AC	LD	LP	RD	AT	P210	CC	CG	PC _{VD}
AC	0,34	0,03	0,01	0,08	-0,05	2,84	0,17	13,26	-5,83
LD	-	0,22	0,21	0,02	0,01	5,44	-0,07	14,49	7,71
LP	-	-	0,22	0,01	0,01	4,90	-0,08	13,73	4,47
RD	-	-	-	0,16	-0,03	1,38	0,06	4,32	-2,56
AT	-	-	-	-	0,07	-0,76	-0,05	-2,80	0,45
P210	-	-	-	-	-	434,88	-0,99	672,96	371,78
CC	-	-	-	-	-	-	0,46	7,38	1,43
CG	-	-	-	-	-	-	-	3294,44	851,32
PC	-	-	-	-	-	-	-	-	1619,44

AC: anchura cruz; LD: longitud dorso; LP: longitud pelvis; RD: rectitud dorso; AT: anchura trocánteres; P210: peso vivo a 210 días; CC: clasificación canal ternero; CG: crecimiento canal; PC_{VD}: peso canal vaca desecho.

Predicción del peso vivo adulto

A partir del peso canal de desecho predicho se estimó el peso vivo adulto de todas las nodrizas de la población. La Figura A.1. muestra el peso adulto estimado para las nodrizas de la raza Blonda de Aquitania que tuvieron partos en 2015 y 2016 (nodrizas activas).

Figura A.1. Estimación del peso adulto de las nodrizas activas de CONABA.

Apéndice 3: Estimación de la energía bruta por ternero comercializado

La energía bruta (EB) se calculó como la suma de las necesidades energéticas expresadas en MJ/ternero comercializado/ año de los terneros en su etapa de cebo (EB_{CEBO}) y de la etapa de producción ($EB_{PRODUCCION}$), incluyendo en esta última las necesidades energéticas de novillas de reposición, nodrizas y vacas de desecho.

La EB_{CEBO} se calculó de acuerdo a las ecuaciones de NRC (2007) como:

$$EB_{CEBO} = \frac{\sum_{ED}^{esac} \left(\frac{NE_{Md}}{REM} + \frac{NE_{Cd}}{REG} \right)}{\frac{DE\%}{100}} \quad \text{Ecuación A.23}$$

Donde ED es edad al destete, $esac$ es edad al sacrificio, NE_{Md} son las necesidades de energía neta diarias de mantenimiento, NE_{Cd} son las necesidades de energía neta diarias de mantenimiento, REM es la relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida, REG es la, $DE\%$ es el porcentaje de la digestibilidad del alimento de la dieta de terneros en cebo.

La $EB_{PRODUCCION}$ fue calculada como:

$$EB_{PRODUCCION} = \frac{EB_R + EB_N + EB_{VD}}{Productividad} \quad \text{Ecuación A.24}$$

Donde EB_R es la energía bruta de novillas de reposición, EB_N es la energía bruta de nodrizas y EB_{VD} es la energía bruta de vacas de desecho expresadas en MJ por vaca nodriza y año y Productividad es el número de terneros comercializados por vaca y año.

La EB_R es la energía bruta para satisfacer las necesidades energéticas de mantenimiento y crecimiento hasta que la novilla alcanza su primer parto. Se expresó en MJ por ternero comercializado y año y se calculó como:

$$EB_R = \frac{\frac{NE_R}{REM}}{\frac{DE\%}{100}} \quad \text{Ecuación A.25}$$

Donde NE_r es la energía neta de mantenimiento y crecimiento de novillas, expresadas en MJ de energía neta por vaca nodriza y año, REM es la relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y $DE\%$ es el porcentaje de la digestibilidad del alimento de vacas.

La EB_N incluyó las necesidades de energía bruta de las nodrizas y fueron calculadas como:

$$EB_N = \frac{\frac{NE_N}{REM}}{\frac{DE\%}{100}} \quad \text{Ecuación A.26}$$

Donde NE_N son las necesidades de energía neta expresadas en MJ de energía neta por vaca nodriza y año, REM es la relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y $DE\%$ es el porcentaje de digestibilidad del alimento de vacas.

La EB_{VD} incluyó las necesidades energéticas de las vacas de desecho durante el cebo s, expresadas en MJ de EB por nodriza y año y fueron calculadas como:

$$EB_{VD} = \frac{\frac{NE_{VD}}{REM}}{\frac{DE\%}{100}} \quad \text{Ecuación A.27}$$

Donde NE_{VD} son las necesidades de energía neta expresadas en MJ de energía neta por vaca nodriza y año, REM es la relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y $DE\%$ es el porcentaje de digestibilidad del alimento de vacas.

ANEXOS

Anexo 1: Ejemplo de informes fenotípicos

Se muestra un ejemplo de informe fenotípico entregado al ganadero en una explotación de Limusina (Figura A.2). El objetivo es detectar las posibles debilidades y fortalezas de la explotación. Se muestra la comparación de la explotación con las demás ganaderías de su misma raza, dentro de la población que incluye otras tres razas, y las diferencias en fenotipo entre las 5 nodrizas más y menos rentables.

INFORME MEJORA DE LA RENTABILIDAD DE LA EXPLOTACIÓN VACUNO DE CARNE

DATOS DE LA EXPLOTACIÓN 2011-2016

nº	CEA	PARTOS	SACRIFICIOS	CALIFICADOS
8		127	33	63

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Edad al primer parto, intervalo entre partos, peso canal, conformación, edad sacrificio, crecimiento canal y desarrollo muscular y esquelético para la media de los registros, la media de los registros de la raza entre los años 2011-2016, la diferencia entre la media de la explotación y la raza y el impacto económico de esa diferencia en euros por ternero comercializado

	Media GANADERIA	MEDIA RAZA	DIFERENCIA	EUROS
Edad al primer parto (20-48 meses)	35,5	35,9	-0,40	0,5
Intervalo entre parto (300-730 días)	394,0	424,0	-30,05	23
Conformación	9,8	8,0	1,85	31
peso canal (C)(180-730 días)	372,6	335,0	37,64	0
Edad sacrificio (C) (180-730 días)	421,8	419,0	2,81	0
Crecimiento canal (C) (kg canal/día)	0,9	0,8	0,08	62
Peso canal 365 días	327,6	298,0	29,59	59
Desarrollo muscular	51,2	57,0	-5,77	0
Desarrollo esquelético	55,3	62,0	-6,74	0
Aptitudes funcionales	58,9	61,0	-2,12	0
Peso 210 días	211,3	270,0	-58,67	0

SITUACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

En el siguiente gráfico se muestra el percentil en el que está la EXPLOTACIÓN (rojo) para los caracteres intervalo entre partos (ipp), edad al primer parto (epp), peso canal (pc), edad al sacrificio (esac), conformación (conf), crecimiento canal (crec), desarrollo muscular (DM) y desarrollo esquelético (DE) y aptitudes funcionales (AF) y el peso ajustado a 210 días (P210), respecto a la media de la raza (RAZA) y la media de toda las ganaderías del estudio (POBLACION) en línea azul

RAZA: datos Asociación 2011-2016. POBLACIÓN: datos medios de las Asociaciones colaboradoras

EVOLUCIÓN DE LOS CARACTERES

AÑO	PARTOS	IPP	EPP	CREC CANAL	EDAD SAC	CONF	PESO CANAL 365	DM	DE	AF	P210
2011	23	427,7	33,2	0,93	320,0	U+	298,0	63,0	60,0	67,0	222,0
2012	20	351,8	33,2	0,78	471,7	U+	363,7	37,9	46,4	58,8	192,3
2013	19	400,9	34,1	0,88	464,3	U+	403,7	60,4	58,3	63,0	206,0
2014	18	378,5	32,1	0,88	386,0	U	338,0	56,0	64,0	70,0	214,0
2015	21	394,9	32,2	0,90	449,7	U	398,6	59,0	64,4	59,6	233,0
2016	26	402,8	33,8	0,96	390,3	U	368,8	56,5	59,2	63,2	NA

Figura A.2. Ejemplo de informe fenotípico para la raza Limusina.

La Figura A.2 muestra la situación de una explotación de raza Limusina para los caracteres edad al primer parto, intervalo entre partos, conformación/clasificación de la canal, peso canal entre 180 y 730 días, edad al sacrificio entre 180 y 730 días, crecimiento canal, peso canal a 365 días, desarrollo muscular, desarrollo esquelético, aptitudes funcionales y peso a los 210 días. Cada ganadería se le expone su situación (media desde 2011 a 2016) y la diferencia con la raza en unidad del carácter y en euros. En las gráficas del informe se exponen el percentil que ocupan en la raza y en la población para cada carácter. Por último se le expone la evolución de los caracteres desde 2011 a 2016.

En el ejemplo utilizado, la explotación se encuentra mejor que la media de la raza para los caracteres peso canal, conformación, edad al primer parto, intervalo entre partos y crecimiento canal, teniendo peores resultados que la media en los caracteres desarrollo muscular, esquelético, aptitudes funcionales y peso a los 210 días. Respecto a la población total, la explotación fue mejor que la media en todos los caracteres.

En la Tabla A.5 se exponen los resultados de las 5 nodrizas más y menos rentables según sus resultados fenotípicos. Se muestra su edad al primer parto, intervalo entre partos medio, número de partos, mortalidad de hijos/as en el primer mes de vida, consumo y valor de desecho estimado de la nodriza mediante una valoración multicaracter similar a lo expuesto en el Apéndice 2, el crecimiento y la clasificación de la canal de sus hijos y los resultados al destete de sus hijos de peso a los 210 días, desarrollo muscular y aptitudes funcionales. La diferencia estimada entre la nodriza más rentable y menos de la explotación fue de 140€ por ternero comercializado debido a una mejor funcionalidad, con un menor intervalo entre partos y una menor edad al primer parto, teniendo un mayor consumo y valor de desecho. En producción, tuvo mejores resultados con un mayor crecimiento canal y conformación de sus hijos.

Tabla A.5. Comparación de datos fenotípicos entre las 5 mejores y peores nodrizas de una explotación de raza Limusina.

Madre	Año nacimiento	Uª hija	Uª parto	Edad 1º parto¹	Intervalo partos	Nº partos*	Mortalidad terneros	Diferencia consumo	Diferencia desecho	Funcionalidad¹²	Crec canal	Conf canal	DM	DE	AF	Producción³	Euros⁴
1ª F	2009	4162	2016	32	365	5	0	22	7	+	0,94	U	50	59	54	++	118 ++
2ª F	2005	2357	2016	31	363	8	0	-16	-5	++	0,863	U+	70	71	57	++	97 ++
3ª F	2007	-	2016	43	382	6	0	5	1	=	0,917	U	52	60	62	++	91 ++
4ª F	2009	2356	2016	36	450	4	0	9	2	--	0,976	U+	49	60	62	++	91 ++
5ª F	2006	-	2015	29	381	7	1	21	7	=	0,923	U	53	60	63	++	87 ++
6ª F	2009	-	2016	34	378	5	2	2	0	+	-	-	54	60	61	--	-67 --
7ª F	2011	-	2016	39	480	2	0	-6	-1	--	0,816	U+	73	80	52	=	-75 --
8ª F	2009	-	2016	30	390	5	0	-13	-4	=	0,623	U	47	58	60	--	-163 --
9ª F	2003	-	2016	27	453	7	1	-5	-1	--	0,646	U-	53	57	58	--	-229 --
10ª F	2004	4164	2016	44	517	7	0	1	0	--	0,697	U-	54	54	59	--	-258 --
Caracteres			Funcionales								Producción						

¹Clasificación de las nodrizas: ++ entre el 20% mejor, + entre el 20-40% mejor, = entre el 40-60% mejor, - entre el 20-40% peor y -- 20%.

² Funcionalidad: engloba los caracteres edad al primer parto, intervalo entre partos, mortalidad de terneros, consumo (diferencia en euros de consumo respecto a la media de la población) y valor de desecho (diferencia en euros de ingresos por desecho respecto a la media de la población).

³ Producción: engloba los caracteres de crecimiento canal corregido por el efecto sexo (crec canal), clasificación de la canal corregido por el efecto sexo (conf canal), desarrollo muscular (DM), desarrollo esquelético (DE) y aptitudes funcionales (AF).

⁴Euros: diferencia respecto a la media de la explotación calculada como ingresos menos costes estimados mediante la función de beneficio a partir de los caracteres de cada nodriza.

Anexo 2: Ejemplo de informe genético por explotación

En este apartado se muestra un ejemplo de informe genético por explotación de las nodrizas de la misma explotación de raza Limusina que en el Anexo 1.

INFORME VALORACIÓN GENÉTICA DE LA EXPLOTACIÓN

VACUNO DE CARNE

DATOS DE LA EXPLOTACIÓN

EXPLOTACION	NÚMERO DE NODRIZAS
	29

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Valor genético medio de las nodrizas de la explotación respecto a la población de referencia (NODRIZAS NACIDAS EN 2010), diferencia en euros respecto a la población de referencia para los caracteres analizados y percentil dentro de las explotaciones (++ 20% MEJOR; + 21-40% MEJOR; = 41-60% MEJOR; - 21-40% PEOR y -- 20% PEOR).

	VG medio de las nodrizas de la explotación	EUROS	ranking explotaciones
Edad primer parto (días)	-6,24	0,79	+
Intervalo entre partos (días)	-11,17	14,20	+
Dificultad parto (materno) (1-4)	0,43	-4,23	-
Dificultad parto (directo) (1-4)	-0,53	5,22	=
Peso Desecho(kg)	12,93	1,92	=
Consumo (kg)	18,80	-9,05	=
Peso destete (materno) (kg)	0,88	0,12	=
Peso destete (directo)(kg)	-3,21	-0,44	-
Desarrollo esquelético (ptos)	-0,98	0,00	-
Desarrollo muscular (puntos)	1,58	0,00	++
Crecimiento canal (g/d)	-8,86	-7,02	-
Conformación (EUROP)	0,14	2,59	++

ÍNDICES	Índices	percentil	rank
Maternal/reposición	4,11	45	=
Terminal	0,35	38	-

SITUACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

En el Gráfico 1 se muestra el percentil en el que está la EXPLOTACIÓN (discontinua) frente a las demás explotaciones para los caracteres intervalo entre partos (ipp), edad al primer parto (pp), consumo (CONS), peso de desecho (DES), conformación de la canal (CONF), crecimiento canal (CREC), desarrollo muscular (DM), desarrollo esquelético (DE), peso al destete materno (PDM) y peso al destete directo (PDd).

En el Gráfico 2 se muestra el percentil en el que está la EXPLOTACIÓN frente a las demás explotaciones para cada una de las valoraciones lineales: anchura cruz (AC), anchura dorso (AD); anchura trocánteres (AT); anchura nalgas (AN); anchura ancas (AA); anchura pecho (AP); longitud dorso (LD); longitud pelvis (LP); longitud nalga (LN); profundidad de pecho (PP); rectitud de dorso (RD); redondez de nalga (RN); desarrollo (DS); espesor del lomo (EL); aplomos traseros (PT); aplomos delanteros (PD); grosor de cañas (GC).

TENDENCIA GENÉTICA DE LOS ANIMALES VALORADOS DE LA EXPLOTACIÓN

AÑO	EPP	IPP	FPm	FPd	DES	CONS	PDM	PDd	DE	DM	AF	CREC	CONF
2013	-4.07	-10.01	0.45	-0.62	16.76	24.38	2.31	-5.67	-2.7	0.28	0.04	-10.46	0.03
2014	-6.06	-10.06	0.39	-0.47	14	20.36	2.35	-5.85	-2.5	-0.1	-0.34	-13.46	0.01
2015	-19.64	-10.62	0.22	0	14.78	21.49	0.96	3.25	4.94	2.21	1.97	14.93	0.16
2016	-15.62	-10.17	0.27	-0.08	15.86	23.07	1.02	3.02	4.18	2.03	1.79	11.92	0.13

Figura A.3. Ejemplo de informe genético de Limusina.

Tabla A.6. Ejemplo de valoración genética de las nodrizas de la explotación de Limusina (5 mejores por índice de reposición/maternal vs 5 peores por índice de reposición/maternal).

NODRIZA	AÑO NAC	PARTOS	EPP ¹	EUR ² RANK ³	IPP	EUR RANK	DES	EUR RANK	CONS	EUR RANK	FPM	EUR RANK	FPD	EUR RANK	PDM	EUR RANK	PDD	EUR RANK	DE	DM	CREC	EUR RANK	CONF	EUR RANK	MATERNAL RANK	TERMINAL RANK
1º G	2007	5	6,56	-0,83 -	-9,58	12,19 -	13,21	1,96 =	19,22	-9,25 =	0,52	-5,09 --	- 1,19	11,66 ++	- 6,20	-0,85 --	11,16	1,53 ++	5,13 ++	2,35 ++	20,80	16,48 ++	0,35	6,49 ++	34,29 ++	36,16 ++
2º G	2004	10	- 15,11	1,91 ++	-9,90	12,59 -	10,63	1,58 =	15,46	-7,44 =	0,40	-3,88 -	- 0,59	5,83 =	1,81	0,25 =	-7,56	-1,04 --	-1,5 -	0,55 +	15,49	12,27 ++	0,15	2,7 ++	24,76 ++	19,76 ++
3º G	2009	4	-7,56	0,95 +	-9,20	11,7 -	6,98	1,04 -	10,16	-4,89 +	0,61	-5,95 --	- 1,10	10,78 ++	3,43	0,47 ++	-6,12	-0,84 --	- 2,16 --	3,3 ++	6,74	5,34 +	0,25	4,53 ++	23,13 ++	19,81 ++
4º G	2008	6	- 32,07	4,05 ++	- 10,06	12,8 =	13,00	1,93 =	18,91	-9,1 =	0,66	-6,47 --	- 0,89	8,73 ++	3,21	0,44 ++	2,94	0,4 +	- 3,53 --	1,87 ++	6,32	5,01 +	0,19	3,42 ++	21,21 ++	17,56 ++
5º G	2005	9	- 36,42	4,6 ++	-8,88	11,29 --	27,12	4,03 ++	39,44	- 18,99 --	0,33	-3,21 =	- 0,43	4,2 -	2,30	0,32 +	-3,22	-0,44 =	2,8 ++	5,69 ++	13,65	10,81 ++	0,40	7,43 ++	20,04 ++	22,00 ++
6º G	2013	1	10,67	-1,35 -	-9,23	11,74 -	29,43	4,38 ++	42,81	- 20,61 --	0,59	-5,8 -	- 0,38	3,72 -	1,96	0,27 =	-6,24	-0,86 --	- 3,83 --	1,81 ++	- 11,96	-9,47 -	0,16	2,99 ++	-14,99 --	-3,62 -
7º G	2009	5	-6,53	0,82 +	- 15,92	20,25 ++	-1,83	-0,27 --	-2,66	1,28 ++	0,57	-5,65 --	- 0,78	7,67 +	0,02	0 -	0,95	0,13 +	- 0,46 =	- 0,01 =	- 46,18	- 36,59 --	-0,09	-1,76 -	-14,10 --	-30,54 --
8º G	2007	6	21,12	-2,67 --	- 15,56	19,79 ++	-3,23	-0,48 --	-4,70	2,26 ++	0,67	-6,57 --	- 0,68	6,68 =	0,01	0 -	0,50	0,07 +	- 2,25 --	0,99 +	- 39,36	- 31,18 --	-0,10	-1,83 -	-13,93 --	-26,26 --
9º G	2011	3	-9,47	1,2 +	- 12,93	16,45 ++	-6,15	-0,92 --	-8,95	4,31 ++	0,09	-0,87 ++	- 0,13	1,3 --	5,14	0,71 ++	-6,58	-0,9 -	- 4,17 --	- 0,82 -	- 47,92	- 37,96 --	0,33	6,12 ++	-10,57 --	-31,44 --
10º G	2000	12	16,62	-2,1 --	-9,61	12,22 -	36,15	5,38 ++	52,59	- 25,31 --	0,78	-7,64 --	- 0,15	1,45 --	- 0,62	-0,09 -	-0,15	-0,02 =	- 0,41 =	4,48 ++	0,87	0,69 +	0,29	5,42 ++	-10,00 --	7,54 +
Caracteres			Funcionales													Producción							Índices			

¹Valor genético expresado respecto a la media de las nodrizas nacidas en 2010.²Euros respecto a la media de las nodrizas nacidas en 2010 (población de referencia).³Rank CLASIFICACIÓN DE LAS NODRIZAS: ++ SIGNIFICA ENTRE EL 20% MEJOR, + ENTRE EL 20-40% MEJOR, = ENTRE EL 40-60% MEJOR, - ENTRE EL 20-40% PEOR Y -- 20% de todas las nodrizas de la población. Maternal: índice de reposición (€); Terminal: índice terminal (€)

EPP: Edad al primer parto (días); IPP: intervalo entre partos (días); DES: Peso de desecho (kg); CONS: consumo (UFL); FPD: facilidad de parto directa (1-4); FPM: facilidad de parto; materna (1-4); PDD: peso al destete directo (kg), PDM: peso al destete materno (kg); DM: desarrollo muscular (1-100); DE: desarrollo esquelético; CREC: crecimiento canal diario (g/d); CONF: clasificación de la canal (1-15);

En la Figura A.3 se muestra un ejemplo de informe genético por explotación. Se muestra el valor genético medio de las nodrizas con parto en el último año. El valor genético se expresa en unidad de cada carácter respecto a la población de referencia (nodrizas nacidas en 2010). Además la diferencia en valor genético respecto a la población de referencia es cuantificada en €/ternero comercializado/año y se le muestra el ranking respecto a cada carácter de la explotación dentro de la raza Limusina.

Los caracteres que se incluyen son edad al primer parto, intervalo entre partos, facilidad de parto (materna y directa), peso de desecho y consumo, peso al destete (directo y materno), desarrollo esquelético, desarrollo muscular, crecimiento canal y clasificación de la canal. Se le indica el resultado medio de sus nodrizas para el índice maternal/reposición y terminal y el percentil dentro de las explotaciones de Limusina. Los Gráficos 1 y 2 muestran el percentil en que se encuentra para cada carácter. Por último, se muestra la tendencia genética de las nodrizas de 2013 a 2016.

En el caso de la explotación de estudio la media de sus nodrizas tendría un valor en el índice maternal/reposición de 4,11€ respecto a la población de referencia estando en el percentil 45, para el índice terminal tendría un valor de 0,35€ estando en el percentil 38. La explotación destacaría en edad al primer parto, intervalo entre partos, conformación y desarrollo muscular, siendo una explotación media para los otros caracteres excepto para el crecimiento canal y la facilidad de parto materna.

En la Tabla A.6 se muestra la valoración genética de las cinco mejores y las 5 peores nodrizas por índice maternal o de reposición, habiendo una diferencia entre la mejor y la peor de 14,29€. La nodriza 1ºG obtuvo el mejor valor para el índice maternal (+34,29€), debido a un mayor crecimiento, clasificación de la canal y a un consumo y valor de desecho moderados. La nodriza 10º G obtuvo el peor valor por índice maternal/reposición (10,0€), debido a unos peores resultados en caracteres funcionales y un menor valor de crecimiento que la nodriza 1ºG.

Los informes realizados para la explotación de raza Limusina muestran un gran margen de mejora económica a partir de la mejora de los caracteres estudiados, tanto a nivel fenotípico como a nivel genético. Esta explotación se encuentra dentro de las ganaderías integradas en el programa de mejora y por tanto dentro de la “élite”, pudiendo existir mayores diferencias en ganaderías “comerciales” que cuentan con un menor control de sus animales.

Anexo 3: Información complementaria

Tabla A.7. Correlaciones fenotípicas (encima de la diagonal) y correlaciones genéticas (debajo de la diagonal) y desviación estándar de las estimas.

	PA ¹	EPP	IPP	FP	FP _M	PD _M	PD _D	CG	CC	CC _{VD}	PC _{VD}	M _V	M _C
PA	-	-0,05	0,02	0,04	-0,01	0,42	0,42	0,00	0,00	0,65	1,00	0,07	0,00
EPP	-0,32(0,10)	-	0,01	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,14	-0,19	0,08	-0,04	0,14	0,00
IPP	-0,27(0,19)	0,14(0,12)	-	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,60	0,00
FP	-0,04(0,11)	0,09(0,08)	0,02(0,05)	-	1,00	0,02	0,02	0,07	0,07	0,04	0,04	0,05	0,06
FP _M	-0,03(0,15)	-0,19(0,09)	0,10(0,06)	-0,62(0,10)	-	0,02	0,02	0,07	0,07	0,04	-0,01	0,05	0,06
PD _M	-0,46(0,13)	0,41(0,25)	-0,06(0,15)	-0,19(0,16)	-0,35(0,15)	-	-	0,60	0,09	0,08	0,42	-0,07	-0,08
PD _D	0,45(0,24)	-0,09(0,10)	0,05(0,15)	0,08(0,05)	0,39(0,08)	-0,59(0,18)	-	0,60	0,09	0,08	0,42	-0,07	-0,08
CG	0,29(0,12)	-0,10(0,08)	-0,27(0,32)	0,17(0,14)	0,05(0,13)	-0,31(0,21)	0,32(0,20)	-	0,31	0,00	0,00	0,00	0,99
CC	0,07(0,10)	-0,03(0,09)	-0,10(0,08)	0,25(0,09)	0,03(0,13)	-0,10(0,14)	0,08(0,15)	0,22(0,08)	-	0,00	0,00	0,00	0,27
CC _{VD}	0,20(0,12)	-0,36(0,14)	-0,28(0,30)	-0,07(0,18)	-0,11(0,19)	-0,68(0,04)	0,55(0,09)	0,01(0,09)	0,12(0,15)	-	0,65	0,11	0,00
PC _{VD}	1,00(0,00)	-0,32(0,11)	-0,27(0,19)	-0,04(0,18)	-0,03(0,09)	-0,46(0,13)	0,45(0,24)	0,29(0,12)	0,07(0,10)	0,20(0,12)	-	0,07	0,00
M _V	0,18(0,08)	0,36(0,06)	0,62(0,01)	0,05(0,11)	0,01(0,18)	-0,08(0,18)	0,26(0,16)	0,12(0,10)	0,02(0,09)	0,15(0,18)	0,18(0,08)	-	0,00
M _C	0,68(0,11)	-0,12(0,06)	-0,19(0,15)	0,26(0,11)	0,00(0,10)	0,03(0,10)	0,66(0,10)	0,98(0,00)	0,38(0,07)	0,29(0,15)	0,68(0,11)	0,28(0,14)	-

¹ Para el carácter peso adulto se asumirán los mismos componentes de varianza que el peso canal de desecho.

PA: peso adulto; EPP: edad primer parto; IPP: intervalo entre partos; FP: facilidad de parto directa; FP_M: facilidad de parto materna; CG: crecimiento canal diario; CC: clasificación de la canal; PC_{VD}: peso canal vaca desecho; CC_{VD}: Clasificación canal vaca de desecho; M_V: kg de CH₄ por ternero y año por vaca; M_C: kg de CH₄ por ternero y año por ternero en cebo.

Tabla A.8. Pesos económicos para (€/ternero comercializado/año) para los caracteres funcionales y de producción incluidos en el índice para el Escenario 1 (índice de reposición), el Escenario 2 (tasa de carbono) y el Escenario 3 (cuota de emisiones por explotación) por unidad de variación de cada carácter (entre paréntesis).

Carácter (unidad de variación), €/ ternero comercializado/año	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Caracteres funcionales			
Peso adulto (+1kg)	-0,50	-0,58	-0,47
Edad al primer parto (+1d)	-0,13	-0,16	-0,13
Intervalo entre partos (+1d)	-1,39	-1,60	-1,31
Facilidad de parto (+1) ¹	-14,16	-16,32	-13,42
Peso canal de desecho (+1kg)	0,14	0,11	0,11
Clasificación canal desecho (+1 SEUROP)	3,16	3,16	3,16
Caracteres de producción			
Peso al destete (+1kg)	0,20	0,24	0,12
Clasificación canal (+1 SEUROP)	19,40	19,40	19,40
Crecimiento canal diario (+0.01kg/d)	7,82	7,23	8,02
Caracteres Metano			
Emisiones de vacas (+1kg/año)	0,00	-0,45	-0,16
Emisiones del ternero (+1kg/año)	0,00	-1,01	-0,34

¹Para la estimación del peso económico de la facilidad de parto, se asumió un incremento del 2% de la mortalidad al nacimiento (resultados en vías de publicación).

Tabla A.9. Ponderación y respuesta a la selección en unidad del carácter y en euros por ternero comercializado y año (€/TC/año) en el índice de reposición actual y el índice de reposición aumentando el precio de suplementación en un 50% (índice de reposición 2).

	% índice de reposición	% índice de reposición 2	Respuesta a la selección 2	
			Unidad carácter	€/TC/año
Caracteres funcionales	48%	61%		
Peso adulto (kg)	18,7	26,3	-14,95	12,11
Edad al primer parto (d)	9,0	10,1	-12,22	2,69
Intervalo entre partos (d)	8,1	11,2	-2,68	5,94
Facilidad de parto materna (1-4)	4,8	6,6	0,00	-0,42
Peso al destete materno (kg)	1,4	1,8	-0,66	0,20
Clasificación canal vaca de desecho (1-15)	2,1	1,9	0,09	0,27
Peso canal vaca de desecho (kg)	3,6	2,3	-10,38	-1,04
Caracteres de producción	52%	39,7%		
Facilidad de parto directa (1-4)	9,4	12,8	0,03	-0,42
Peso al destete (kg)	2,3	2,7	1,47	-0,38
Clasificación canal (1-15)	9,1	7,9	0,39	7,56
Crecimiento canal (g/d)	31,0	16,3	54,7	26,30
Margen (€/TC/año)				52,79