

3. Modelización en programación matemática de la estructura de costes de las explotaciones de ovino de leche Castilla y León

3.1. Introducción: modelización matemática en ganadería

Desde los comienzos de la programación lineal han estado presentes los trabajos para diseñar dietas óptimas, y es el caso de Singler en 1945 o Waugh en 1951. En estos modelos las variables son los diferentes alimentos disponibles, se buscaba minimizar el coste de las raciones y las necesidades alimenticias del ganado conforman las restricciones. Este marco teórico se ha ido completando en el tiempo con la programación lineal paramétrica, modelos duales, restricciones probabilísticas o las relaciones volumen-coste de una ración. Todo ello ha ido adaptando mejor los modelos a la realidad.

La programación lineal como técnica de optimización se adapta bien al ámbito ganadero porque permite una gran versatilidad al poder incluir un gran número de actividades y restricciones en sus aplicaciones. La diversidad de actividades como el empleo de maquinaria, mano de obra, formulación de piensos y raciones, tamaños de rebaño, combinaciones de

orientación en la producción, márgenes y rendimientos..., son algunas de las múltiples posibilidades que admiten la optimización en la explotación ganadera. Son susceptibles de constituir el objetivo de la explotación o de servir como restricciones para su diseño.

Según Torres (Maroto, 1997) los modelos de producción animal se han caracterizado por: la linealidad de todo el sistema, el estatismo del modelo, la aplicabilidad de la solución, lo imprevisible de los fenómenos biológicos y la singularidad de la función a optimizar. Cada uno de estos aspectos ha podido contener críticas que hoy en día o se han resuelto (los equipos informáticos han simplificado y hecho mucho más rápidos estos cálculos) o desde la propia investigación operativa se han abierto nuevas posibilidades (parametrización, análisis de sensibilidad, programación no lineal, programación en números enteros o programación multiobjetivo). Y aunque como toda modelización es una simplificación de la realidad la programación lineal permite predicciones y/o aproximaciones que siguen siendo muy útiles y difíciles de conseguir por otras vías.

LUIS RODRIGUEZ RUIZ¹; M^a ANTONIA GONZÁLEZ VARELA²; JAVIER VERBERANA SIERRA²;
JOSÉ IGNACIO GARCÍA JIMÉNEZ²; BEGOÑA VITORIANO VILLANUEVA³

¹ Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Finca Zamadueñas. Ctra. Burgos Km. 119. 47071 VALLADOLID

² Área de Economía Agraria. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola - INEA. Cno. Viejo de Simancas Km. 4,5. 47008 VALLADOLID

³ Universidad Pontificia de Comillas -ICAI. Alberto Aguilera 23. 280015. MADRID

3.2. Objetivos

Principal:

Modelizar en programación matemática la estructura de costes de explotaciones de ovino de Castilla y León.

Específicos:

1. Establecer las variables determinantes de la estructura de costes de las explotaciones de ovino de Castilla y León.
2. Establecer clasificaciones y agrupaciones del comportamiento en costes de las explotaciones de Castilla y León.
3. Proponer acciones de futuro a los actores implicados: ganaderos, cooperativas y administraciones públicas.

3.3. Procedimiento y método

Hemos decidido establecer un modelo de programación lineal a partir de una función objetivo que busca maximizar el margen bruto de la explotación. Para nuestro trabajo hemos empleado el len-

Inputs

Sets

Se corresponde con los índices en un modelo algebraico. Se establecen al comienzo y no varían.

Data

Son los parámetros del modelo. Pueden incorporarse por listas, tablas o asignados directamente por el modelizador.

Variables

Las variables decisionales (o variables endógenas) deben ser estables en el modelo. Cada una debe recibir un nombre. Debe existir una variable que sea la cantidad a maximizar o minimizar por el modelo. Una vez declaradas se les debe asignar un tipo: libre, positiva, negativa, binario o entera. La variable a ser optimizada debe ser escalar y del tipo libre.

Equations

Incluye las relaciones tanto de igualdad como de desigualdad del modelo. En GAMS se pueden establecer varias de estas relaciones con el mismo nombre.

Objective Function

GAMS no tiene una entidad llamada "función objetivo", para especificar la función a ser optimizada se debe crear una variable (libre / escalar) que aparezca en una definición de una ecuación que se iguale a la función objetivo.

Model

Es una colección de Equations.

Solve

Una vez establecido el modelo puede iniciarse el proceso para buscar soluciones óptimas.

Outputs

Echo Print

Copia del archivo de inputs.

Reference Maps

Sumarios que analizan los inputs para detectar errores sintácticos y un listado de los componentes del modelo.

Equation Listings

Listados de las ecuaciones del modelo.

Status Report

Indica si el proceso de solución se completó normalmente y si el resultado es un óptimo o soluciones no deseadas.

Results

Soluciones del modelo.

3.3.2. El modelo de encuesta

El modelo utilizado se basa en una contabilidad financiera (Cuentas Anuales: Cuenta de Pérdidas y Ganancias) al que se le han añadido otros costes propiamente analíticos. Las variables consideradas se refieren a una cuenta de resultados, basados en un Sistema de "Direct Costing", definida con la siguiente estructura:

Ingresos

- Gastos variables

= Margen Bruto

- Gastos fijos

= Margen Neto

- Costes de oportunidad

= Renta empresarial

guaje de programación algebraico GAMS en la aplicación GAMS 21.2. Esta aplicación permite la elaboración del modelo mediante el establecimiento de índices, parámetros, variables y restricciones.

El modelo representa los resultados económicos de las explotaciones de ovino de leche en las provincias de Zamora, Valladolid y Palencia que representan al 73% de los ganaderos de la comunidad de Castilla y León. Igualmente estas provincias aportan el 79% de la leche de ovino que se produce en la Comunidad.

3.3.1. GAMS

El *General Algebraic Modeling System* (GAMS) es un sistema para la modelización matemática de problemas, incluye varios modelos diferentes para su solución: programación lineal (LP), programación lineal entera mixta (MIP), programación cuadrática (QP), programación no lineal (NLP), programación no lineal entera mixta (MINLP), programación matemática de equilibrio general (MPEC) y programación lineal estocástica.

La estructura de un modelo en GAMS se establece a partir de *inputs* para obtener determinados *outputs*.

Es necesario añadir otras variables relacionadas con el censo del ganado separado según los distintos tipos de animales al inicio y al final del año; el tipo de mano de obra empleado; los inventarios de los distintos tipos de alimentos al inicio y al final de cada año; el sistema de explotación, así como las valoraciones de la mano de obra familiar y del ganado.

Los datos son tomados de encuestas realizadas a 74 ganaderos de ovino de leche de la zona ya descrita. A partir de esos datos se ha definido un "explotación tipo".

Todos los parámetros son formulados mediante programación matemática mediante una función objetivo (*maximización de la renta empresarial*) sujeta a una serie de restricciones:

- El apartado de **ingresos** engloba: ingresos procedentes de las ventas realizadas así como otros ingresos adicionales por distintas causas relacionadas con el ganado o ajenas al mismo

- Los **gastos variables** engloban todos aquellos apartados que varían en función a los animales presentes en la explotación en cada momento, integran fundamentalmente los gastos de alimentación, alojamientos, sanitarios, otros servicios prestados.

- Los **gastos fijos**, como su nombre indica, son aquellos que no dependen o que dependen en una cuantía mínima de los animales presentes en la explotación. Están formados por servicios exte- riores, tributos, gastos de personal, gastos financieros, amortizaciones y otros.

- Los **costes de oportunidad** comprenden gastos no desembolsables en las explotaciones asociadas a la mano de obra familiar fundamentalmente y a costes de inversiones realizadas en activos fijos y circulantes.

En nuestro modelo realizaremos una simplificación de los apartados descritos con el fin de agruparlos en grandes bloques dependiendo de las variables a desarrollar, referido al número de cabezas de ganado del rebaño, en sus distintas etapas de vida (lechazos, corderas, madres y sementales).

3.3.3. El tiempo

Partimos de un horizonte temporal de dos años naturales (24 meses), en el que caben los dos posibles planteamientos a desarrollar:

- Un solo parto al año
- Tres partos en dos años

En el primer caso el ciclo productivo se repite por igual en cada uno de los años; mientras que en el segundo caso el año uno no es igual al año dos, siendo necesario especificar lo que ocurre en cada uno de los meses.

3.3.4. Las producciones

Asociado a la consideración anterior las producciones de leche y lechazos (productos básicos generadores de ingresos) van variando en el tiempo, en cuanto a las cantidades producidas (litros y kilos

respectivamente) y al precio pagado a los productores, es por ellos que en el modelo se contemplan igualmente los 24 meses ya descritos.

3.3.5. Prima por cantidad de leche

En las explotaciones consideradas, el ganadero recibe una prima, que complementa el precio en función a la cantidad de leche producida durante el año anterior. Dicha prima se paga a la totalidad de los litros de leche producidos durante el año en curso. Se trata de una cantidad de dinero variable por tramos. En la actualidad dichos tramos suelen oscilar entre 0,006-0,018 €/ litro.

3.3.6. Prima por calidad de leche

En función a la calidad de la leche medida por la ausencia de bacterias y células somáticas. Se asignan tres o cuatro tramos diferentes.

3.3.7. El rebaño

Es el conjunto de los animales o ganado de la explotación. Se clasifica en cuatros apartados: sementales, ovejas, corderas y lechazos.

- **Sementales**: lo constituyen los machos. Son adquiridos habitualmente fuera de la explotación en ganaderías especializadas en genética.

- **Ovejas**: las hembras que cumplen los requisitos anteriores, es decir, hembras con edad superior al año o bien que han parido por lo menos una vez.

- **Corderas**: las hembras en edad productiva, lo que significa que tienen una edad superior al año o bien que han parido por lo menos una vez.

- **Lechazos**: animales, tanto hembras como machos, con una edad inferior al mes cuyo destino es la venta para carne (segunda fuente de ingresos después de la venta de leche).

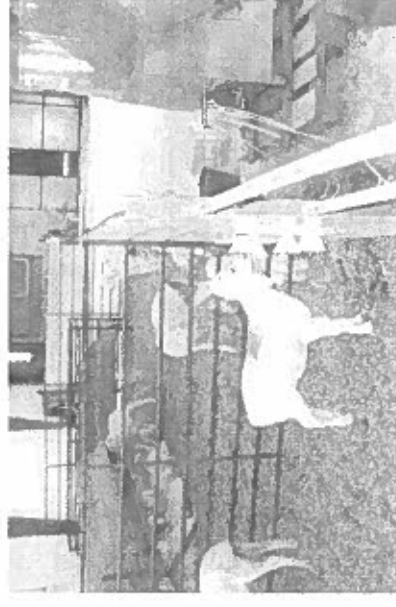


FOTO 3.1. Corderos con lactancia artificial.

La evolución de los animales desde el nacimiento sería la siguiente: algunos se venden directamente como lechazos (tanto hembras como machos) y otros forman parte del grupo de las corderas (solo hembras) para realizar la reposición futura de las madres que han llegado a su vida productiva.

Las ovejas madres son las crecidas dentro de la explotación (corderas) más algunas otras que se puedan adquirir fuera, descontando las vendidas en concepto de desvieje (otra fuente de ingresos).

Los sementales están en el rebaño hasta el momento que son considerados improductivos, momento en el que son vendidos igualmente como desvieje. El número de sementales/oveja madre dependerá de la forma en la que se decida realizar la monta, de forma natural o con inseminación artificial.

Es importante determinar el número de animales que integran cada grupo por cada uno de ellos genera unos gastos diferentes, fundamentalmente, de alimentación y sanitarios.

3.3.8. Desglose de la cuenta de resultados

INGRESOS:

- Ingresos por venta de leche
- Ingresos por venta de lechazos
- Ingresos de venta por desvieje
- Otros ingresos

- GASTOS VARIABLES:

- Gastos de alimentación
- Gastos de alojamiento
- Gastos sanitarios
- Gastos por prestación de servicios
- Otras compras para el inmovilizado

= MARGEN BRUTO

- GASTOS FIJOS:

- Servicios exteriores
- Tributos
- Gastos de personal
- Gastos financieros
- Amortizaciones
- Otros gastos fijos

= MARGEN NETO

- COSTE OPORTUNIDAD

- Coste Mano de obra familiar

= RENTA EMPRESARIAL

3.4. Resultados y discusión

El modelo pretende maximizar la Renta Empresarial, está se entiende como:

$$\text{Renta Empresarial} = \text{Ingresos} - \text{Gastos Variables} - \text{Gastos Fijos} - \text{Costes de oportunidad}$$

Como se explicó en el apartado anterior, para formular el modelo describimos de manera más particular el significado de estas variables. Primero describiremos las variables del modelo, luego presentamos la formulación del modelo en GAMS (parámetros y variables) para establecer la función objetivo y el contenido de las restricciones.

3.4.1. Variables del modelo

$$\text{INGRESOS: Ingresos de venta de leche} + \text{Ingresos de venta de lechazos} + \text{Ingresos de venta por desvieje} + \text{otros ingresos}$$

Ingresos de venta de leche:

$$\text{N}^\circ \text{ de litros vendidos cada mes} * (\text{precio base} + \text{prima por cantidad} + \text{prima por calidad}).$$

Ingresos por venta de lechazos:

$$\text{N}^\circ \text{ kg de lechazo vendido al mes} * \text{precio de venta/kg mensual}$$

Ingresos de venta por desvieje:

$$\text{N}^\circ \text{ de animales vendidos al mes} * \text{precio de venta mensual}$$

Otros ingresos:

Ingresos por venta de lana, piel y estiércol + venta por saneamiento y genética +/- variaciones de los animales + ingresos por prestación de servicios + subvenciones para la adquisición/mejora de inmovilizados + subvenciones por incorporación de jóvenes a la explotación.

- Venta de lana, piel y estiércol: los la podemos estimar en función de los animales presentes en la explotación.

- Venta por saneamiento y genética: nuestras explotaciones no realizan ventas de este tipo habitualmente.

- Variaciones de los animales: suponemos que la estructura del rebaño se va a mantener constante, por tanto esa variación será cero.

- Prestación de servicios: importe que se obtiene cuando prestan servicios a otras explotaciones, no es muy frecuente en las explotaciones analizadas, por tanto prescindimos de ello.

- Subvención para la adquisición/mejora de inmovilizados: solo se produciría en el caso de nuevas inversiones, el importe medio subvencionable está en torno al 30-40%.

- Subvención por la creación de una explotación por lo que la ley denomina "joven agricultor o ganadero".

GASTOS VARIABLES: Gastos de alimentación + Gastos de alojamientos + Gastos sanitarios + Gastos por prestación de servicios + Otras compras para el inmovilizado

Gastos de alimentación:

Comprende la partida más importante dentro de la totalidad de los gastos, ya que en ella se engloban los gastos generados por el consumo de forrajes, concentrados y paja. Los consumos de cada uno de los mismo dependen de varios parámetros.

metros como son el precio y la cantidad mensual, además de la existencia de grupos de animales diferenciados (ovejas, sementales, corderas) con diferentes necesidades nutricionales. Se ha considerado dos etapas según las necesidades:

Mayor producción de leche:
febrero a julio (f-j)

Menor producción de leche:
agosto a enero (a-e)

- Alimentación ovejas madre

Alimentación ovejas madre = (kg. consumo forraje ovejas madre x precio kg. forraje) + (kg. consumo paja ovejas madre x precio kg. paja) + (kg. consumo concentrado ovejas madre x precio kg. concentrado)

Consumo alimentos ovejas madre	Periodo a-e	Periodo f-j
Forraje	20 %	80 %
Paja	50 %	50 %
Concentrado	25 %	75 %

- Alimentación corderas

Alimentación corderas = (kg. consumo forraje corderas x precio kg. forraje) + (kg. consumo paja corderas x precio kg. paja) + (kg. consumo concentrado corderas x precio kg. concentrado)

Consumo alimentos corderas	Periodo a-e	Periodo f-j
Forraje	80 %	20 %
Paja	80 %	20 %
Concentrado	70 %	30 %

- Alimentación sementales

Alimentación sementales = (kg. consumo forraje sementales x precio kg. forraje) + (kg. consumo

paja sementales x precio kg. paja) + (kg. consumo concentrado sementales x precio kg. concentrado)

Consumo alimentos sementales	Periodo a-e	Periodo f-j
Forraje	50 %	50 %
Paja	50 %	50 %
Concentrado	60 %	40 %

Gastos de alojamiento:
Están determinados en función de los animales presentes en la explotación:

Nº de animales * consumo de paja/año/animal.

Gastos sanitarios:
Vacunas, antibióticos, tratamientos hormonales, etc.:

Nº de animales * precio/medio/animal/año.

Prestación de servicios:
Veterinario, seguro del ganado, esquila, ecografías, inseminación artificial, etc.:

Nº de animales * precio/animal/año.

Otras compras para el inmovilizado:
Pequeñas partidas utilizadas para arreglar y conservar los equipos e instalaciones de la explotación. Fijaremos una cantidad aproximada cada año.

GASTOS FIJOS: Servicios exteriores + Tributos + Gastos de personal + Gastos financieros + Amortizaciones + Otros



FOTO 3.2 Alimentación por amarras.

Servicios exteriores:

Carburantes, suministros, arrendamientos, primas de seguro, reparaciones, etc. Es una partida que se mantiene constante a lo largo del tiempo salvo que cambien los parámetros de manejo y el nº medio de animales.

que aportan mano de obra a la explotación.

Gastos financieros:

Los más frecuentes son asociados al pago de intereses de préstamos vinculados a nuevas inversiones en activos.

Tributos:

Impuestos y tasas. Es una partida poco relevante.

Gastos de personal:

Referido al personal contratado con carácter estable. Es fijo pero variará en el tiempo con un aumento significativo del ganado o lo contrario, en ocasiones disminuye cuando la empresa se tecnifica, tal es el caso de la implantación de una sala de ordeño, de cintas de alimentación, etc. También incluye las cuotas pagadas a la seguridad social y seguros especiales del ganadero y sus familiares

Amortizaciones:

Coste de la depreciación que sufren a lo largo del tiempo los inmovilizados materiales e inmateriales. Dependerán de la vida útil asignada en cada caso.

Otros gastos fijos:

Cualquier otra partida no incluida en apartados anteriores.

Costes de oportunidad: es el importe de los sueldos asignados al ganadero y sus familiares con carácter anual, el importe será una cuantía constante.

3.4.2. Formulación del modelo GAMS

Context

Este modelo representa una explotación de ganado ovino en términos económicos, la evolución de los animales en la explotación, así como ciertas características de la explotación que determina el grado de eficiencia y resultados.

SETS

- m:** meses de planificación /1*24/
j: tipo de animal /o, c, s/
i: tramos de producción de leche /1*2/
k: niveles de calidad de leche para primas //
alias: (i,j), (mm,m)

PARAMETERS

- mesinic* Tipo del primer mes de planificación (1...12)
mes (m) Tipo del mes m (1...12)
pleche (m) Precio de venta del litro de leche en el mes m
llechunid Número de litros del leche mensuales producidos por oveja madre
llechunid Número medio de kilos por lechazo
plechazo (m) Precio de venta del kilo de lechazo en el mes m
plevieje (m) Precio de venta por unidad de animales por desviaje en el mes m

ktorajeam (j)

- porcentforaj* (j) Kg de forraje consumido al año por unidad tipo j en el mes m
 Porcentaje consumido por unidad tipo j del forraje anual en periodo a-e

ktoraje (m, j)

- kpajaaan* (j) Kilos de forraje consumidos por unidad del tipo j en el mes m
 Kg de paja consumidos al año por unidad de tipo j de la paja anual

porcentpajaj (j)

- pkpajaa* (m, j) Porcentaje consumido por unidad del tipo j de paja anual en el periodo a-e
 Kilos de paja consumidos por unidad de tiempo j en el mes m

pkpajaa (m)

- kancan* (j) Precio del kilos de paja durante el mes m
 Kg de concentrado consumidos al año por unidad de tipo j

porcentcan (j)

- kcan* (m, j) Porcentaje consumido por unidad tipo j del concentrado anual en el periodo a-e
 Kg de concentrado consumido por unidad de tipo j en el mes m

pkcan (m)

- tasaab* Precio del kilo de concentrado durante el mes m
 Tasa de abortos

prolific

- primacal* (k) Número medio de nacimientos por parto
 Prima recibida por la calidad de la leche ser de nivel k

PARAMETERS

- calilcheexp* Calidad de la leche en la explotación
tramo (i) Extremo superior del tramo i para primas por producción de leche
tasamort Tasa de mortalidad mensual (porcentaje total)
ingfijos Ingresos fijos por derechos o mejora de explotaciones o jóvenes agricultores
porcensem Porcentaje de sementales que debe haber respecto a ovejas madre
tasarep Tasa de reposición (porcentaje de animales que en un año deben renovarse)
casal Coste de UTH asalariada mensual
cfam Coste de UTH familiares mensual
uthasal Número de UTH asalariadas
uthfam Número de UTH familiares mensual
animuth Número máximo de animales que puede manejar un UTH
gastofijos Gastos fijos de la explotación (primas de seguro e inmovilizado + reparaciones y conservación + amortizaciones + gastos financieros + costes de oportunidad + gastos sanitarios)
ninic (i) Número inicial de animales de tipo j

VARIABLES

- LECHE* (m, j) Litros de leche vendida el mes m
XLECH (m) Kilos de lechazo vendidos el mes m
NDESV (m) Número de animales vendidos por desvieje el mes m
N (m, j) Número de animales del tipo j en la explotación el mes m
NORD (m) Número de ovejas en ordeño el mes m
NESECAS (m) Número de ovejas secas el mes m
NACIM (m) Número de nacimientos el mes m
NCUBRI (m) Número de ovejas dedicadas al cubrimiento el mes m
HOLMAN (m) Holgura de trabajo entre carga de trabajo y máxima posible en mes m (UTH)
Y (m, j) Binaría que representa si la producción de leche está en un tramo
OBJETIVO Variable que recoge el valor de la Función objetivo

POSITIVE VARIABLES

- LECHE, XLECH, HOLMAN, NDESV, N, NORD, NSECAS, NACIM, NCUBRI*

BINARY VARIABLES

Y.

EQUATIONS

COSTE	Función objetivo
TRAMOPRIMA1 (m,i)	Cota inferior para tramo de producción de leche
TRAMOPRIMA2 (m,i)	Cota superior para tramo de producción de leche
SUMABINARIAS (m)	Restricción de número de animales por UTH en la explotación
LIMMANEJO (m)	Restricción de número de animales por UTH en la explotación
DEDICOMADRE (m)	Dedicación de las ovejas madres de la explotación
SEMENTALES (m)	Cantidad de sementales de la explotación
CORDERAS (m)	Cantidad de corderas para reposición
LIMLECHE (m)	Límite de producción de leche
LIMLECHAZO (m)	Límite de producción de lechazos
NACIMIENTOS1 (m)	Número de nacimientos en función de las ovejas madre
NACIMIENTOS2 (m)	Número de nacimientos en función de las ovejas madre
EVCORDERAS1 (m)	Evolución de corderas en la explotación
EVCORDERAS2 (m)	Evolución de corderas en la explotación
EVCORDERAS3 (m)	Evolución de corderas en la explotación
EVOMADRE1 (m)	Evolución de ovejas madre en la explotación
EVOMADRE2 (m)	Evolución de ovejas madre en la explotación
EVOMADRE3 (m)	Evolución de ovejas madre en la explotación
EVOMADRE4 (m)	Evolución de ovejas madre en la explotación
EVORD1 (m)	Evolución de ovejas en ordeno en la explotación
EVORD2 (m)	Evolución de ovejas en ordeno en la explotación
EVSSECAS1(m)	Evolución de ovejas secas en la explotación
EVSSECAS2(m)	Evolución de ovejas secas en la explotación

3.4.3. Tratamiento de datos

Para el forraje

$$\begin{cases} kforraje_m = porcentfor_1_j \times kforrajan_j/6 & \text{si } mes_m = 1 \\ kforraje_m = (1 - porcentfor_1_j) \times kforrajan_j/6 & \text{si } mes_m = 2 \end{cases}$$

Para la paja

$$\begin{cases} kpaja_m = porcentpaj_1_j \times kpajaan_j/6 & \text{si } mes_m = 1 \\ kpaja_m = (1 - porcentpaj_1_j) \times kpajaan_j/6 & \text{si } mes_m = 2 \end{cases}$$

Para el concentrado

$$\begin{cases} kconc_m = porcentcon_1_j \times kconcan_j/6 & \text{si } mes_m = 1 \\ kconc_m = (1 - porcentcon_1_j) \times kconcan_j/6 & \text{si } mes_m = 2 \end{cases}$$

3.4.4. Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_m \left[(pleche_m + prima_m + primacal_{m,delcheexp}) LECHE_m \right] + \\ & + \sum_m (KLECH_m \cdot plechazo_m + NDESV_m \cdot pdesvieje_m) + \text{ingfijos} - \\ & - \sum_{m=1}^m (kforraje_m \cdot pkforraje_m + kpaja_m \cdot pkpaja_m + kconc_m \cdot pkconc_m) N_m \\ & - \text{gastosfijos} - \text{casal} \cdot \text{uthasal} \cdot \text{card}(m) - \text{cfam} \cdot \text{uthfam} \cdot \text{card}(m) \end{aligned}$$

3.4.5. Restricciones:

Representación de los tramos de las primas:

$$\begin{aligned} LECHE_m &\geq \text{tramo}_{i-1} \cdot Y_m & \forall i, m \\ LECHE_m &\leq \text{tramo}_{i-1} \cdot Y_m & \forall i, m \\ \sum_i Y_m &= 1 \end{aligned}$$

Límite de manejo por número de UTH:

$$\sum_j N_m / \text{animuth} + \text{HOLMAN}_m = \text{uthasal} + \text{uthfam} \quad \forall m$$

Ovejas madre en explotación:

$$N_m = \text{NORD}_m + \text{NSECAS}_m \quad \forall m$$

Sementales en explotación:

$$N_m \geq \text{porcentsem} \cdot N_m$$

Número de corderas para reposición:

$$N_m \geq \text{tasarep} \times N_m$$

Límite producción litros de leche:

$$\sum_{i=1}^m LECHIE_{im} \leq llechumid \cdot \text{NORD}_m \quad \forall m$$

Modelo: 1 parto por año y un único lote

Evolución de lechazos:

$$KLECH_m \leq klechumid \cdot (1 - \text{tasarep}) \cdot \text{NACIM}_m$$

Nacimientos estimados:

$$\text{NACIM}_m = N_{m-10} \cdot \text{prolific} \cdot (1 - \text{tasaab}) \quad m = \text{Febrero}$$

Evolución de las ovejas madre en la explotación:

$$N_{m+1} = (1 - \text{tasamort}) \cdot N_{m-10} - \text{NDESV}_m + \text{NACIM}_{m-11} \cdot \text{tasarep}$$

Evolución de dedicación de ovejas madre en la explotación:

$$\text{NORD}_m = N_{m-1} \cdot (1 - \text{taxaab}) \quad m = \text{Marzo}, \dots, \text{Octubre}$$

$$\text{NSECAS}_m = N_{m-1} \quad m = \text{Noviembre}, \dots, \text{Febrero}$$

$$\text{NSECAS}_m = N_{m-1} \cdot \text{tasaab} \quad m = \text{Marzo}, \dots, \text{Octubre}$$

Evolución de corderas en explotación:

$$N_{m+1} = N_m + \text{NACIM}_m \cdot \text{tasarep} - \text{NACIM}_{m-12} \cdot \text{tasarep}$$

Carácter de las variables:

$$LECHE_m, KLECH_m, \text{NDESV}_m, \text{NORD}_m, \text{NSECAS}_m, \text{NPREN}_m, \text{NACIM}_m, \text{NCUBRI}_m \geq 0$$

$$\text{NDESV}_m, N_{mp}, \text{NACIM}_m, \text{NORD}_m, \text{NSECAS}_m, \text{NPREN}_m \in \mathbb{Z}$$

$$Y_m \in \{0, 1\}$$

3.5. Conclusiones

La renta empresarial es un buen optimizador de la producción ganadera. Su complejidad reside en incorporar elementos económicos (ganado) y financieros (precio), pero ofrece una información relevante sobre el comportamiento de la explotación.

En nuestro caso la función objetivo se ha formulado como maximización de la renta empresarial, en concreto como maximización de los ingresos sustraídos los gastos (variables y fijos), y los costes de oportunidad.

El modelo se ha establecido identificando dos períodos en el año: agosto a enero y de febrero a julio como períodos de menor y de mayor producción de leche respectivamente.

Los parámetros del modelo son los precios y cantidades de venta (leche y lechazos), los precios y cantidades de gastos de alimentación (forrajes, paja y concentrados), las primas percibidas por los ganaderos y las fluctuaciones del

rebaño (partos, retiradas por desvieje); y la mano de obra (familiar y asalariada). Se han agrupado en los gastos fijos el resto de gastos de la explotación (reparaciones, conservación, amortizaciones, costes de oportunidad, gastos sanitarios y gatos financieros).

Las variables del modelo son la producción de leche y los animales en la explotación (ovejas madre, corderas y sementales). Son aquellos factores que dependen de la actividad del ganadero, sobre lo que él puede decidir y que repercuten directamente en los resultados de la actividad. También se ha considerado una variable de holgura que relaciona el tamaño del rebaño con las UTH necesarias para su manejo.

El modelo obtenido se ha establecido para un parto anual, con la posibilidad de llevar dos lotes en la explotación de modo que se garantice la producción de leche durante todo el año de una forma más homogénea. Es necesario ampliar el modelo a dos partos en tres años, pues es el sistema de mayor intensificación que biológicamente se puede considerar en ovino.