



**UNIVERSITAT DE LLEIDA**  
**DEPARTAMENT DE PRODUCCIÓ ANIMAL**

**TESIS DOCTORAL**

**CONSTRUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE UN MODELO  
ESTOCÁSTICO PARA LA SIMULACIÓN DE  
ESTRATEGIAS DE MANEJO INVERNAL EN REBAÑOS DE  
VACAS NODRIZAS**

**DANIEL VILLALBA MATA**  
**LLEIDA, 2000**

**A Marta y a mis padres**

## **AGRADECIMIENTOS**

Aunque algunos me recordarán que hay mejores formas de agradecimiento, quisiera hacer público en esta página mi reconocimiento a todas aquellas personas e instituciones que han hecho posible esta tesis, en especial:

A Ricardo Revilla, por haberme contagiado, hace ya años, con el veneno de la producción animal en zonas de montaña, y por su apoyo y consejo desde entonces.

A Joan Estany, maestro desde hace tiempo, que con su espíritu crítico, pero a la vez constructivo, ha enriquecido, sin duda, esta tesis.

A Isabel y Albi, amigas y compañeras, que han estado ahí siempre, tanto para ayudarme en el trabajo como para apoyarme en los momentos de desánimo.

A Eva, Iñaki y últimamente a Jara, por hacer más agradable mis visitas a Zaragoza, y por su amistad.

Al personal del SIA, Angel, José Manuel, Miguel Angel, Javier, Carlos, Fidel, Fernando, Ramiro y Pepe, que con su trabajo diario hacen posible la obtención de los datos que se presentan en la tesis.

A los compañeros del Departament de Producció Animal, que me han aguantado estos tres últimos años y que con sus consejos han mejorado este documento.

Y a Marta...

El presente trabajo se ha realizado gracias a la financiación de los siguientes organismos:

- Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón (Proyecto de Ganadería de Montaña nº 100)
- Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ( Proyectos SC94-072 y 98-44)
- Unión europea (Proyectos DG-VI-8001-CT-90-002 y DG-VI-AIR-CT 1124)

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

---

<b>1.1 LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE VACAS NODRIZAS EN EL PIRINEO</b> .....	3
1.1.1 <i>Características generales</i> .....	3
1.1.2 <i>Condicionantes a la producción de vacas nodrizas en el Pirineo</i> .....	7
<b>1.2 LOS MODELOS EN GANADERÍA</b> .....	9
1.2.1 <i>Tipos de modelos</i> .....	10
1.2.2 <i>Utilización de modelos estocásticos en sistemas de producción de vacas nodrizas</i> .....	14
<b>1.3 PLANTEAMIENTO DEL MODELO</b> .....	17

## 2. OBJETIVOS

---

<b>2. OBJETIVOS</b> .....	23
---------------------------	----

## 3. DESCRIPCIÓN DE UN MODELO DE REPARTICIÓN DE LA ENERGÍA EN VACAS NODRIZAS DE RAZA PARDA ALPINA

---

<b>3.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	27
<b>3.2 MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	28
3.2.1 <i>Entradas del modelo</i> .....	30
3.2.2 <i>Compartimentos del modelo</i> .....	31
3.2.3 <i>Reparto de la energía</i> .....	32
3.2.4 <i>Salidas del modelo</i> .....	36
3.2.5 <i>Calibración del modelo</i> .....	36
<b>3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	38
3.3.1 <i>Ajuste del modelo</i> .....	38
3.3.2 <i>Necesidades estimadas de energía neta de mantenimiento</i> .....	39
<b>3.4 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO</b> .....	44

## 4. CURVAS DE CRECIMIENTO PREDESTETE EN TERNEROS DE RAZA PARDA ALPINA Y PIRENAICA

---

<b>4.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	49
<b>4.2 MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	50
4.2.1 <i>Animales</i> .....	50
4.2.2 <i>Análisis estadístico</i> .....	53

<b>4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	55
4.3.1 <i>Peso al nacimiento (PN)</i> .....	55
4.3.2 <i>Pesos nacimiento-destete</i> .....	56
4.3.3 <i>Linealidad del crecimiento</i> .....	62
4.3.4 <i>Relación entre los crecimientos en establo y en pasto</i> .....	64
4.3.5 <i>Variabilidad individual</i> .....	65

<b>4.4 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO</b> .....	68
--	----

## **5. DESCRIPCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MODELO ESTOCÁSTICO PARA LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE VACAS NODRIZAS**

---

<b>5.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	71
<b>5.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO</b> .....	72
5.2.1 <i>Inputs del modelo</i> .....	72
5.2.1.1 <i>Definición del manejo nutricional y reproductivo del lote</i> .....	72
5.2.1.2 <i>Características individuales de las vacas</i> .....	72
5.2.1.3 <i>Descripción de las variables estocásticas</i> .....	73
5.2.2 <i>Funcionamiento del modelo</i> .....	76
5.2.2.1 <i>Predicción de la producción de leche y variación de peso</i> .....	77
5.2.2.2 <i>Gestión de la reproducción</i> .....	79
<b>5.3 VALIDACIÓN DEL MODELO</b> .....	81
<b>5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	84
<b>5.5 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO</b> .....	93

## **6. UTILIZACIÓN DE UN MODELO ESTOCÁSTICO PARA LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUBNUTRICIÓN DURANTE LA ESTABULACIÓN**

---

<b>6.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	97
<b>6.2 MATERIAL Y METODOS</b> .....	97
6.2.1 <i>Alternativas simuladas</i> .....	99
6.2.1.1 <i>Estrategias de subnutrición invernal de vacas con parto de otoño</i> .....	99
6.2.1.2 <i>Estrategias de subnutrición invernal de vacas con parto de primavera</i> .....	101
<b>6.3 RESULTADOS</b> .....	102
6.3.1 <i>Estrategias de subnutrición en la paridera de otoño</i> .....	102
6.3.2 <i>Estrategias de subnutrición en la paridera de primavera</i> .....	107

---

<b>6.4 DISCUSIÓN</b> .....	112
<b>6.4.1</b> <i>El modelo utilizado</i> .....	112
<b>6.4.2</b> <i>Estrategias de subnutrición en la paridera de otoño</i> .....	113
<b>6.4.3</b> <i>Estrategias de subnutrición en la paridera de primavera</i> .....	115
<b>6.4.4</b> <i>Comparación paridera de otoño y de primavera</i> .....	117
<b>6.5 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO</b> .....	118

## **7. CONCLUSIONES GENERALES**

---

<b>7. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	123
--	-----

## **8. RESUMEN Y SUMMARY**

---

<b>8. RESUMEN Y SUMMARY</b> .....	127
-----------------------------------	-----

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

---

<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	133
------------------------------	-----

## **ANEJO**

---

<b>ANEJO. El programa VACÚN</b> .....	147
---------------------------------------	-----

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Variables directoras del modelo que definen la ingestión y producción de cada animal .....	30
<b>Tabla 3.2.</b> Descripción de los experimentos utilizados en la calibración del modelo para las necesidades de mantenimiento .....	37
<b>Tabla 3.3.</b> Resultados de la regresión paso a paso. Variables de la vaca que explican la variación del parámetro $a_{ENm}$ .....	43
<b>Tabla 4.1</b> Descripción del conjunto de datos utilizados para el análisis del crecimiento predestete de los terneros .....	52
<b>Tabla 4.2.</b> Medias mínimo cuadráticas (error estándar) para el peso (kg) a 0, 120, 150 y 180 d de edad por sexo (SEXO), número de parto de la madre (PARTO) y nivel de alimentación postparto de la madre (NAP).....	57
<b>Tabla 4.3.</b> Medias mínimo cuadráticas de los pesos del ternero en cada raza y época de parto .....	58
<b>Tabla 4.4.</b> Sesgos de las estimas de peso al destete ajustado a 150 d de edad en terneros de raza Parda Alpina nacidos en primavera y otoño.....	63
<b>Tabla 4.5.</b> Estadísticos de la ganancia media diaria (GMD) en establo y en pasto, y producción de leche de la madre observadas en el grupo de terneros de raza Parda Alpina nacidos en primavera .....	65
<b>Tabla 4.6.</b> Varianza y covarianza de los coeficientes aleatorios estimados en el modelo para cada una de las razas y épocas de parto .....	66
<b>Tabla 5.1.</b> Parámetros estocásticos del modelo .....	74
<b>Tabla 5.2.</b> Descripción de las características de los lotes utilizados para la validación del modelo.....	83
<b>Tabla 5.3.</b> Condición corporal (simulada y real) al inicio y fin del experimento .....	87
<b>Tabla 5.4.</b> Ganancia media diaria (kg) del ternero simulada y real.....	89

---

<b>Tabla 5.5.</b> Desviación típica observada y simulada por el modelo para el peso vivo final, variación del peso vivo, condición corporal final y peso del ternero final .....	91
<b>Tabla 6.1.</b> Características iniciales (Media y desviación estándar) utilizadas para la simulación de estrategias de manejo durante la estabulación .....	99
<b>Tabla 6.2.</b> Alternativas simuladas en la paridera de otoño. Definición de las estrategias en función de la energía metabolizable suministrada (MJ/vaca y día) durante la estabulación.....	100
<b>Tabla 6.3.</b> Alternativas simuladas en la paridera de primavera. Definición de las estrategias en función de la energía metabolizable suministrada (MJ/vaca y día) durante la estabulación.....	101
<b>Tabla 6.4.</b> Energía metabolizable (GJ) utilizada durante la estabulación en los lotes de 50 vacas simulados con parto de otoño .....	102
<b>Tabla 6.5</b> Resultados medios de cada lote simulado para las estrategias de subnutrición en vacas con parto en otoño. Media del lote (error estándar).....	103
<b>Tabla 6.6</b> Energía metabolizable (GJ) utilizada durante la estabulación en los lotes de 50 vacas simulados con parto de primavera .....	108
<b>Tabla 6.7</b> Resultados medios de cada lote simulado para las estrategias de subnutrición en vacas con parto en primavera. Media del lote (error estándar).....	109

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Esquema general de utilización de las diferentes superficies forrajeras en los sistemas de producción de vacas nodrizas en el Pirineo .....	6
<b>Figura 1.2</b> Estructura modular del modelo de simulación de un lote de vacas nodrizas.....	17
<b>Figura 3.1</b> Esquema del modelo de reparto de la energía metabolizable ingerida en el módulo VACA.....	29
<b>Figura 3.2</b> Valores observados (◆) y predichos (—) de 3 vacas de cada uno de los experimentos.....	40
<b>Figura 3.3</b> Relación entre valores observados y predichos por el modelo para la variación de peso entre el inicio y el fin del experimento.....	41
<b>Figura 3.4</b> Distribución de las estimas obtenidas del parámetro que define las necesidades energéticas de mantenimiento.....	42
<b>Figura 4.1</b> Media (error estándar), y diferencias interanuales máximas (◆) y mínimas (□) entre el peso de los terneros de raza Parda Alpina y los de raza Pirenaica nacidos en otoño.....	59
<b>Figura 4.2</b> Media (error estándar), y diferencias interanuales máximas (◆) y mínimas (□) entre el peso de los terneros de raza Parda Alpina nacidos en otoño y los nacidos en primavera.....	61
<b>Figura 4.3</b> Curva de crecimiento de terneros de raza Parda Alpina nacidos en otoño, intervalos de confianza y predicción de las estimas .....	62
<b>Figura 4.4</b> Residuos del modelo sin utilizar coeficientes aleatorios (A) y utilizando coeficientes aleatorios (B).....	67
<b>Figura 5.1</b> Esquema de funcionamiento del modelo y su validación.....	73
<b>Figura 5.2</b> Esquema de la rutina de reparto de la energía .....	80

<b>Figura 5.3</b> Peso vivo observado y resultado medio de 10 repeticiones del lote simulado (lotes VM1 a VM6).....	85
<b>Figura 5.4</b> Peso vivo observado y resultado medio de 10 repeticiones del lote simulado (lotes VM7 a VM10).....	86
<b>Figura 5.5</b> Relación entre lotes reales y simulados para la variación de condición corporal entre el inicio y el fin del experimento (%).....	88
<b>Figura 5.6</b> Evolución de los pesos vivos estimados en 10 repeticiones y de los pesos vivos reales .....	90
<b>Figura 6.1</b> Producción de leche (MJ EN/d) simulada media de los lotes con parto de otoño .....	104
<b>Figura 6.2</b> Peso de los terneros (kg) simulados en dos lotes simulados con parto de otoño. Lote OT <sub>CONTROL</sub> (+) y OT <sub>BAJO1</sub> (○).....	106
<b>Figura 6.3</b> Condición corporal de los lotes con parto de otoño simulados estocásticamente (-■- OT <sub>CONTROL</sub> ; -◆- OT <sub>BAJO1</sub> ; -●- OT <sub>BAJO2</sub> ; -▲- OT <sub>BAJO3</sub> ) y de forma determinista ( □ OT <sub>CONTROL</sub> ; ◇ OT <sub>BAJO1</sub> ; ○ OT <sub>BAJO2</sub> ; y ▲ OT <sub>BAJO3</sub> )..	107
<b>Figura 6.4</b> Evolución durante el parto de la condición corporal media de los lotes simulados con parto de primavera BAJO1 (-▲-) y BAJO2 (-○-).....	110
<b>Figura 6.5</b> Condiciones corporales durante el parto de las vacas de los lotes simulados PRI <sub>BAJO1</sub> (○) y PRI <sub>BAJO2</sub> (▲).....	111



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>aENm</b>	necesidades energéticas de mantenimiento por kg de peso metabólico	<b>MS</b>	materia seca
<b>APP</b>	anestro postparto	<b>MS<sub>rc</sub></b>	materia seca de las reservas corporales
<b>C.V.</b>	coeficiente de variación	<b>μ</b>	media
<b>CC</b>	condición corporal	<b>n_cub</b>	número de cubrición
<b>CCo</b>	condición corporal inicial	<b>NAP</b>	nivel de alimentación postparto
<b>CCP</b>	condición corporal al parto	<b>OT</b>	otoño
<b>dg,dgest</b>	día gestación	<b>PA</b>	Parda Alpina
<b>e.e.</b>	error estándar de la media	<b>Per_PL</b>	persistencia producción lechera
<b>e<sub>i</sub></b>	error del componente i	<b>PI</b>	Pirenaica
<b>EB</b>	energía bruta	<b>PL</b>	producción lechera diaria
<b>EBa</b>	energía bruta de los alimentos.	<b>PL_Ti</b>	consumo de leche potencial del ternero
<b>ECM</b>	error cuadrático medio	<b>PLI</b>	producción de leche el primer día de lactación
<b>EF</b>	estado fisiológico	<b>PLpot_V</b>	producción de leche potencial de la vaca
<b>EM</b>	energía metabolizable	<b>PLperm</b>	producción de leche permitida por la dieta
<b>EM<sub>ing</sub></b>	energía metabolizable ingerida	<b>PN</b>	peso nacimiento del ternero
<b>EM<sub>diet</sub></b>	energía metabolizable de la dieta	<b>PR</b>	primavera
<b>EM<sub>disp</sub></b>	energía metabolizable disponible	<b>PNg</b>	peso nacimiento del ternero que está gestando la vaca
<b>EM<sub>mant</sub></b>	energía metabolizable necesaria para mantenimiento	<b>prot_d</b>	proporción de proteína disponible para movilizar
<b>EN<sub>i</sub></b>	energía neta necesaria para la función i	<b>prot_l</b>	contenido proteína leche
<b>EPOCA</b>	época de parto de la vaca	<b>PT</b>	peso del ternero
<b>GMD</b>	ganancia media diaria	<b>PV</b>	peso vivo
<b>GMD<sub>e</sub></b>	ganancia media diaria del ternero en establo	<b>PVo</b>	peso vivo inicial
<b>GMD<sub>v</sub></b>	ganancia media diaria del ternero en pastoreo de verano	<b>PVV</b>	peso vivo vacío
<b>GMD<sub>T</sub></b>	ganancia media diaria del ternero	<b>qm</b>	energía metabolizable alimento
<b>gr_var_peso</b>	porcentaje de grasa de la variación de peso vivo	<b>r<sub>a,b</sub></b>	correlación entre a y b
<b>gr_d</b>	proporción de grasa disponible para movilizar	<b>R<sup>2</sup></b>	coeficiente de determinación
<b>grasa_l</b>	contenido grasa leche	<b>σ y s.d.</b>	desviación típica
<b>GT</b>	grasa total	<b>σ<sup>2</sup></b>	varianza
<b>Ing</b>	ingestión de MS total	<b>TF</b>	tasa de fecundación
<b>Ing<sub>conc</sub></b>	ingestión concentrado	<b>utgrav</b>	peso productos gestación
<b>Ing<sub>mant</sub></b>	ingestión necesaria para mantenimiento	<b>VAL_res</b>	valor de las reservas corporales
<b>IC<sub>ternero</sub></b>	índice de conversión leche a peso vivo del ternero	<b>VP</b>	variación de peso
<b>k<sub>i</sub></b>	eficiencia de aprovechamiento de la energía metabolizable para la función i	<b>Vpmax</b>	variación de peso máxima permitida
<b>L</b>	nivel de alimentación	<b>VPVV</b>	variación peso vivo vacío
<b>LRT</b>	test de la razón de verosimilitud	<b>Δcd</b>	variación contenido digestivo

# 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

---



## 1.1 LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE VACAS NODRIZAS EN EL PIRINEO

### 1.1.1 *Características generales*

El sistema productivo denominado vacas nodrizas, vaca de cría, o vaca de carne, es la principal opción de las explotaciones bovinas en el Pirineo. En estas explotaciones el conjunto vaca-ternero constituye el núcleo de la producción, y el objetivo es la venta de un ternero al destete. Hasta el momento del destete, que tradicionalmente se produce a los 6-9 meses, aunque actualmente se viene adelantando a los 4-5 meses (Revilla, 1987), el ternero se cría con la vaca, y se alimenta principalmente de la leche de su madre. Una vez destetado, el ternero pasa a la fase de engorde, habitualmente con una alimentación basada en pienso y paja, hasta el momento del sacrificio, dentro o fuera de la explotación que lo ha producido.

Aunque hasta hace no muchos años en algunas explotaciones del Pirineo las vacas se utilizaban con un doble propósito, la producción del ternero y el ordeño (Manrique et al., 1992), actualmente la mayoría de los ganaderos se dedican exclusivamente al primer objetivo. Las razas utilizadas tienen características de tipo cárnico, con buenos crecimientos de los terneros y una producción de leche media a baja. En cuanto a la base genética, es absoluto el predominio de la raza Pardo Alpina. Esta homogeneidad sólo es modificada por la explotación de Pirenaica, Charolés, o Simental, en raza pura o en forma de híbridos (Manrique et al., 1992).

La característica principal de las explotaciones de montaña es la dependencia del medio en que se encuentran (Gibon, 1981; Revilla, 1987). El manejo de los rebaños se basa en la utilización directa por parte de las vacas de los recursos forrajeros. Dependiendo de la época del año los animales pastorean diferentes zonas (Figura 1.1); en verano se aprovechan, habitualmente de forma comunal, los pastos de puerto situados en las zonas altas (más de 1500 m); en primavera y otoño se aprovechan los pastos intermedios (sotobosque y cultivos abandonados) y las

praderas de fondo de valle (Revilla et al., 1988). Por otro lado, la climatología durante el invierno, que reduce drásticamente la producción primaria o hace imposible el pastoreo debido a la nieve, condiciona la gestión de los rebaños, obligando a la estabulación de los animales y a utilizar alimentos almacenados.

El proceso productivo se encuentra de esta forma en un marco caracterizado por la existencia de periodos del año marcados por la abundancia de recursos forrajero-pastorales, intercalados con otros en que la subnutrición o la restricción alimenticia en el establo son prácticas utilizadas. Esta política de restricción alimentaria es una forma de reducir los costes de producción, en particular los originados por el mantenimiento de las reproductoras, para mejorar la productividad del rebaño de vacas (Gibon, 1981; Petit, 1990). Se pretende que los animales utilicen, en los periodos donde la disponibilidad forrajera es limitada, las reservas que se han podido acumular en periodos de abundancia forrajera.

El ajuste de las necesidades nutritivas del rebaño a la oferta forrajera se convierte en la principal adaptación de los sistemas productivos a las condiciones extensivas (D'Hour et al., 1998). Tradicionalmente este ajuste se realizaba en el Pirineo siguiendo las pautas marcadas por los ungulados salvajes, efectuando un parto en primavera para hacer coincidir en el tiempo la producción máxima de los pastos (en primavera e inicio de verano) con las mayores necesidades del conjunto vaca-ternero. Posteriormente durante el periodo de estabulación invernal la estrategia de alimentación se basaba en la subnutrición (Gibon, 1981; Revilla, 1987; Manrique et al., 1992) para reducir los costes de alimentación, esperando que el animal movilizara las reservas corporales que se suponía había acumulado durante el pastoreo.

Este sistema, bien adaptado a zonas con una climatología favorable y producción primaria elevada (Russel y Broadbent, 1985; Osoro, 1989; Mathieu y Bernard-Brunet, 1991), puede no ser adecuado para zonas con unas condiciones naturales más desfavorables. Así, si en las condiciones del Pirineo, se aplica una subnutrición invernal a vacas con parto de primavera, en las que la recuperación de peso en pastoreo es limitada e incluso se pueden producir pérdidas (especialmente en años secos) (Revilla et al., 1991; Villalba et al., 1995; Casasús et al., 1998), pueden verse reducidos los resultados reproductivos en la siguiente cubrición (Blasco y Revilla., 1991; San Juan, 1993).

La aplicación de nuevos conceptos y estrategias técnicas para la gestión de los rebaños, o bien aquellas derivadas de las que se utilizaban en otras zonas, deben ser analizadas y valoradas en las condiciones en las que se sitúa el sistema de producción propio.

En ocasiones es necesario simplificar un proceso complejo para poder analizarlo con más facilidad, y aplicando esta dinámica al sistema de producción de vacas nodrizas, la gestión de los rebaños se puede concentrar en dos aspectos prioritarios:

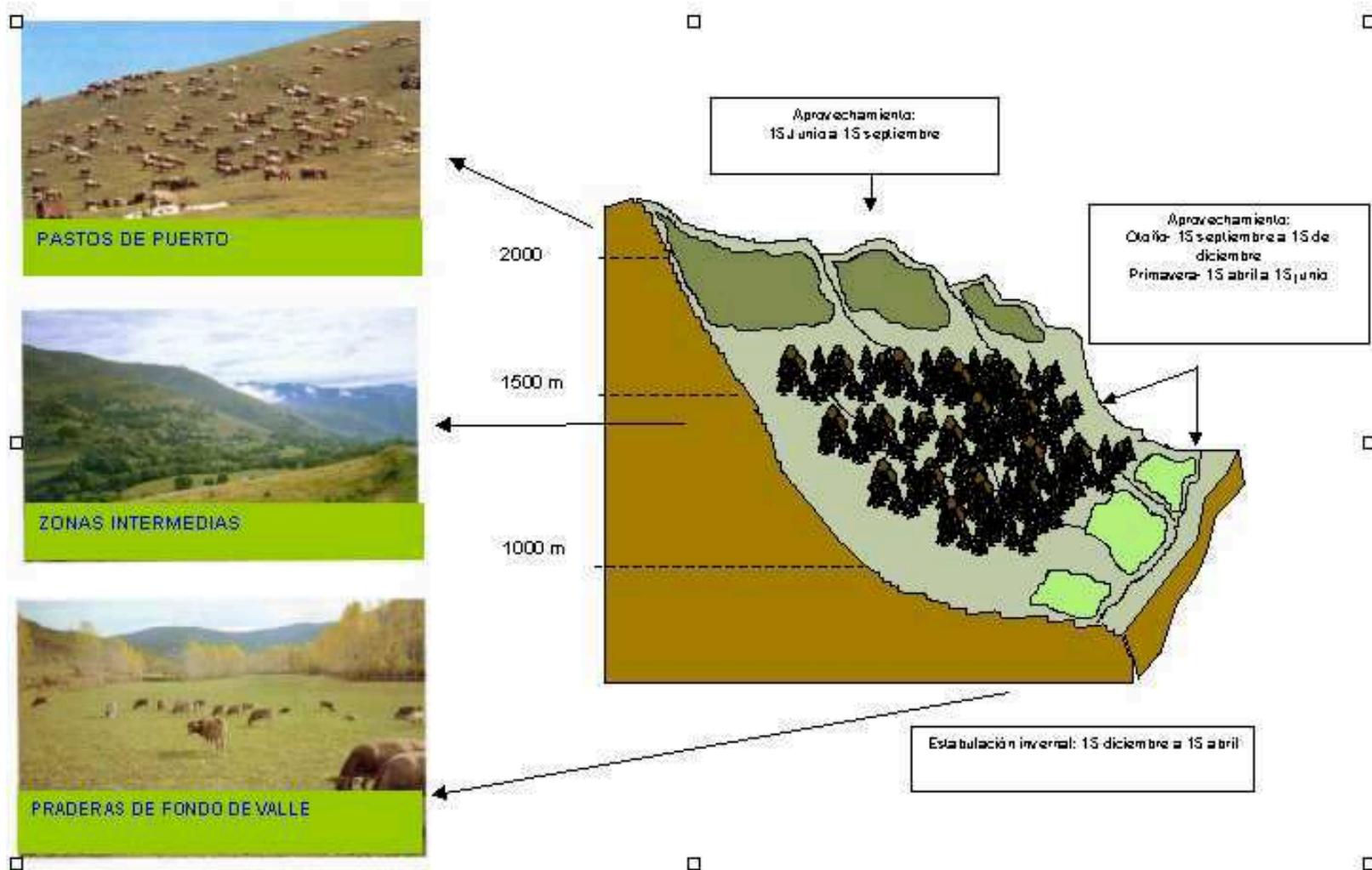
\* La recuperación de peso durante los periodos de pastoreo y la posterior utilización de las reservas corporales para la producción.

\* Las relaciones existentes entre los factores de manejo, principalmente la alimentación, y los resultados reproductivos del rebaño.

Sobre estos dos ejes se estructuran todos los demás aspectos fundamentales del ciclo productivo, como la elección de las épocas de parto, el nivel de alimentación a ofrecer durante el periodo invernal, la edad al destete de los terneros o inclusive la raza a explotar. La combinación de estos elementos es la base de las alternativas de gestión de los rebaños para mejorar su productividad.



**Figura 1.1 Esquema general de utilización de las diferentes superficies forrajeras en los sistemas de producción de vacas nodrizas en el Pirineo**



### **1.1.2 Condicionantes a la producción de vacas nodrizas en el Pirineo**

La producción de vacas nodrizas en zonas de montaña no sólo está condicionada por los factores del medio natural en que se desarrollan sus actividades, sino por sus propias estructuras productivas y de explotación, y por el entorno socioeconómico en que se encuentran (Manrique et al., 1992).

Las modificaciones del medio socioeconómico (despoblación; desequilibrio demográfico; abandono, infrautilización y degradación de los recursos naturales) conocido como “crisis de la montaña” (Revilla, 1987), así como las nuevas políticas de extensificación que se están promoviendo en Europa, nos sitúan ante un nuevo panorama que condiciona la viabilidad de las estrategias de manejo que se pueden plantear.

Las nuevas políticas de extensificación tienen importancia capital en el mantenimiento del medio, y en la lucha contra la invasión de matorral y proliferación de incendios forestales (Ferrer et al., 1998), pero también en el mantenimiento de la rentabilidad de las explotaciones. Un aumento del periodo de pastoreo puede conllevar una reducción de las inversiones utilizadas en la explotación, tales como los alimentos comprados para la invernada en establo, y del capital inmovilizado (al reducir las instalaciones y el equipo para la hienificación) (Manrique y Revilla, 1982; Bebin et al., 1995).

La tendencia a la extensificación plantea la valoración zootécnica de los recursos naturales y la evaluación de la repercusión que puede provocar la reducción de la carga ganadera y el alargamiento de los periodos de pastoreo sobre la productividad de los rebaños (Casasús, 1998) y sobre su reproducción (Revilla, 1997; Sanz et al., 1997).

El análisis de las diferentes alternativas mediante una aproximación tradicional se puede complicar cuando se deben añadir las nuevas propuestas de extensificación, donde se incluyen periodos de pastoreo en zonas de poco valor forrajero (sotobosque, cultivos abandonados) (Thénard, 1993; Revilla et al., 1995) o periodos con producción herbácea baja (Casasús et al., 1996; Ferrer et al., 1998). Los rendimientos zootécnicos en estas estaciones de pastoreo dependen tanto del valor del pasto como del estado fisiológico y de reservas corporales de los animales que lo

utilizan (Villalba et al., 1995; Ferrer et al., 1998; Casasús, 1998).

Los rendimientos de los animales en pastoreo dependen en gran medida de las decisiones que se han tomado durante el periodo de estabulación. Así, aunque una mayor utilización de los pastos por los animales supone, sin duda, una reducción del tiempo de permanencia en el establo, la estabulación se puede convertir en un momento clave para la toma de decisiones. La estabulación debería entenderse como un periodo de mínimo coste económico pero con un manejo nutricional acorde con las reservas energéticas acumuladas por el animal en el pastoreo anterior. Además el manejo durante la estabulación debería asegurar la reproducción del rebaño y, por último, preparar a los animales para un aprovechamiento óptimo del pastoreo posterior.

La estrategia de alimentación durante la invernada es uno de los puntos clave a analizar con el objetivo de proponer alternativas de manejo más eficientes, y acordes con el entorno socioeconómico. Es necesario conocer los efectos, sobre la producción y la reproducción, de la subnutrición durante la estabulación, y de la reducción del periodo de estabulación, en función de las opciones de gestión del rebaño, en especial de la época de parto.

## 1.2 LOS MODELOS EN GANADERÍA

Como en cualquier sistema complejo, la valoración de alternativas en los sistemas de producción de vacas nodrizas se hace difícil al tener que integrar conceptos económicos, sociales y productivos. La ventaja de los modelos matemáticos de simulación frente a los enfoques tradicionales para la valoración o comparación de sistemas aparece porque los conceptos y datos son transformados en ecuaciones matemáticas, que pueden ser resueltas rápidamente por los ordenadores, y proporcionar un enfoque dinámica y cuantitativa al sistema (Gill et al., 1989; Black, 1995a).

Un modelo se puede definir como una representación simplificada de una realidad. Desde un punto de vista matemático, un modelo es una teoría o descripción matemática de un objeto o un fenómeno real. ¿Qué sentido tiene la utilización de modelos matemáticos en el análisis de los sistemas de producción en general y de los sistemas de producción de vacas nodrizas en particular?

Hasta el siglo XX, los experimentos de laboratorio fueron el método principal y prácticamente único de realizar la investigación científica. Pero los grandes sistemas no se pueden llevar al laboratorio. Además, incluso si los estudios se pueden llevar a cabo en los laboratorios o en condiciones controladas, los resultados obtenidos puede que no sean necesariamente aplicables a su comportamiento en el medio natural en que se desarrollan.

Los experimentos en sistemas y subsistemas realizados en el ambiente natural (“experimentos operacionales”) son posibles como resultado de los métodos experimentales desarrollados por el estadístico británico R.A. Fisher en los años veinte. Por razones prácticas e incluso éticas, raramente es posible experimentar en grandes sistemas como un todo. Esto resulta en un aparente dilema, pues parece necesario experimentar en sistemas complejos para aumentar la información sobre ellos, aunque usualmente ello no sea posible. Por eso, en muchos casos la investigación se parcela y acota para reducir el problema a los límites fácilmente controlables con el riesgo de perder información sobre el comportamiento global del

sistema. El uso de modelos, que son representaciones del sistema bajo estudio, permite la experimentación con el sistema de forma global. Una vez el modelo se considera adecuado, los experimentos (llamados “simulaciones”) pueden ser realizados en él.

Desde un punto de vista sistémico, la simulación permite valorar gran número de alternativas dentro de diferentes marcos económicos o sociales. Con la modelización matemática de un sistema se pueden integrar las diferentes componentes o submodelos que lo forman, así como las relaciones e interacciones entre ellos, que según Rountree (1977) definen la integridad de su organización y su identidad. Gracias a la aplicación de la modelización a los sistemas, los investigadores en sistemas ganaderos han desarrollado conceptos, métodos y herramientas para dirigir la actividad ganadera como un todo (Gibon et al., 1999).

Desde un punto de vista productivo, la modelización del animal permite utilizar conjuntamente la información y los conocimientos obtenidos de los diferentes subsistemas que lo componen (France y Thornley, 1984; Whittemore, 1986). Según Black (1995a), el mejor modelo animal debería ser una integración de módulos, cada uno desarrollado por especialistas en la materia.

Los modelos no sólo ayudan a la solución de problemas, al permitir una simplificación de la realidad, sino que también son útiles para formular preguntas. Los modelos necesitan el planteamiento de una serie de hipótesis y la obtención de datos sobre el funcionamiento de la realidad que se pretende simular. Así pues, el propio proceso de construcción del modelo contribuye a un mejor entendimiento y descripción del sistema (Dent et al., 1995).

### **1.2.1 Tipos de modelos**

La clasificación de los modelos no es sencilla. En primer lugar, los modelos se pueden dividir en tres tipos en función de su objetivo principal (France y Thornley, 1984): básicos, aplicados y de desarrollo.

El primer grupo de modelos serían los definidos como de tipo *básico*, cuyo objetivo

principal es ampliar conocimientos (y sus beneficios no son cuantificables, excepto por evidencias históricas). Algunos modelos de tipo básico se han aplicado a estudios relacionados con el engorde de vacuno de carne (Oltjen et al., 1986) y las vacas nodrizas (Sanders y Cartwright, 1979; Kahn y Spedding, 1983; Bruce et al., 1984; Azzam et al., 1990).

Los modelos de tipo *aplicado* y los de *desarrollo* tendrían por objetivo solucionar un problema. En el caso de los modelos de tipo *aplicado* la solución implica una ampliación del conocimiento. Por ejemplo, modificaciones del modelo de Sanders y Cartwright (1979) han sido utilizadas para evaluar el efecto de la producción lechera sobre la eficiencia del rebaño y para determinar los pesos económicos a incluir en un índice de selección genética (Notter, 1979); o para estimar el efecto económico de diferentes decisiones de manejo invernal (Meek y Kilpatrick, 1991); o la interacción entre animal-planta (Stout et al., 1990). Sinclair (1998), a partir del modelo básico de Bruce et al. (1984) evalúa diferentes alternativas de alimentación anual en diferentes genotipos. Del modelo básico de Azzam et al. (1990) se han derivado estudios sobre las estrategias óptimas de cubrición (Pleasants, 1997) y se han analizado alternativas de gestión desde el punto de vista económico (Werth et al., 1991).

En los modelos de *desarrollo*, la solución utiliza todo el conocimiento adquirido para solucionar un problema. Por ejemplo, el modelo presentado por Stuth et al. (1999) tiene como objetivo la predicción, a partir de los análisis de heces, del nivel nutricional de los rebaños de vacuno de carne en Texas, y de ello derivar recomendaciones directas de manejo para el ganadero. El trabajo de Spreen et al. (1985) presenta un modelo para vacuno de carne durante el engorde, en el que el objetivo es la recomendación de alternativas, mediante la simulación del crecimiento del animal, en un sistema basado en forrajes e integrado en un modelo económico.

Una segunda clasificación de los modelos se puede realizar en función de aspectos relacionados con su construcción: dinámicos o estáticos, mecanicistas o empíricos, y estocásticos o deterministas (France y Thornley, 1984; Whittemore, 1986; Bernues et al., 1995; Black, 1995a).

Los modelos estáticos representan el estado de un sistema solamente en un instante de tiempo (France y Thornley, 1984; Black, 1995a). Entre los modelos estáticos de interés en ganadería nos hemos de referir a las tradicionales tablas de necesidades nutritivas de los animales de granja, que están basadas en el uso de modelos

estáticos (I.N.R.A., 1978; A.R.C., 1980; N.R.C, 1985). Los modelos dinámicos, en contraposición, describen el tiempo explícitamente, siendo una variable más del modelo. La mayoría de los modelos en ganadería son dinámicos, en muchos casos introduciendo la variable tiempo en los modelos estáticos descritos anteriormente.

Un modelo mecanicista es aquel que representa los mecanismos subyacentes. Los mejores son los basados en las leyes de la física y la química (Baldwin et al., 1987; Black, 1995b). Por ejemplo, Gill et al. (1989) propone las bases para un modelo mecanicista basado en las leyes de la estequiometría química para modelizar el metabolismo de los diferentes componentes de la dieta a nivel celular. Los modelos empíricos están basados en ecuaciones que describen las correlaciones y asociaciones entre dos o más variables, pero que no implican nada sobre los mecanismos subyacentes que controlan el funcionamiento del sistema.

Según estas definiciones, la mayoría de los modelos descritos sobre el metabolismo energético de la vacas nodrizas son de tipo empírico, puesto que basan sus predicciones en relaciones estadísticas obtenidas a partir de bases de datos propias o de la bibliografía (Sanders y Cartwright, 1979; Bruce et al., 1984; Davis et al., 1994; Naazie et al., 1997; Tess y Kolstad, 2000a). En el campo de la reproducción existen modelos mecanicistas en ovino que intentan describir el crecimiento folicular a partir de las relaciones hormonales (Scaramuzzi et al., 1993), pero las aplicaciones en modelos generales de vacas nodrizas son de tipo empírico (A.R.C., 1980; Azzam et al., 1990; Pleasants, 1997).

Aunque clara por definición, la frontera entre modelos mecanicistas y empíricos puede ser difícil de situar. En primer lugar muchos modelos tienen módulos empíricos pero también componentes mecanicistas. Por otro lado, según France y Thornley (1984), el empiricismo o mecanicismo de un modelo depende de si contiene referencias sobre niveles inferiores al que describe. Así, un modelo que pretenda simular el sistema ganadero a nivel de rebaño, se podría considerar mecanicista si incluyese referencias al metabolismo de los nutrientes a nivel de animal.

Un modelo determinista es aquel que hace predicciones exactas para cantidades (como el peso del animal o la producción de leche), sin ninguna distribución de probabilidad asociada (France y Thornley, 1984). Un modelo estocástico contiene algunos elementos aleatorios o distribuciones de probabilidad dentro del modelo, y así, no sólo predice el valor esperado de una cantidad, sino también su varianza

(Ferguson et al., 1997).

Los modelos de vacuno de carne en crecimiento (Spren et al., 1985; Oltjen et al., 1986; Hirooka y Yamada, 1987; Teitzel et al., 1991; Keele et al., 1992; Williams et al., 1992; Mclvor y Money Penny, 1995; Freer et al., 1997) y de vacas nodrizas desde un punto de vista nutricional (Sanders y Cartwright, 1979; Bruce et al., 1984; Davis et al., 1994; Naazie et al., 1997; Tess y Kolstad, 2000a) son de tipo determinista y únicamente se tiene en cuenta la variabilidad entre razas mediante la variación de los entradas del modelo para diferentes genotipos.

Algunos autores introducen módulos de tipo estocástico - en los que parte de los parámetros que definen la reproducción del animal se extraen de distribuciones de probabilidad concretas - para la modelización de la reproducción en vacuno de carne (Johnson y Notter, 1987; Azzam et al., 1990; Werth et al., 1991; Pleasants, 1997). Otros modelos con componentes estocásticas, especialmente en el ámbito reproductivo, han sido definidos en vacuno de leche (Sorensen et al., 1992; Kristensen et al., 1997), o en otras especies, como el porcino (Pomar et al., 1991; Jalvingh et al., 1992; Ferguson et al., 1997; Jorgensen, 1998).

Por último, el nivel de representación del sistema de producción puede servir para dividir los modelos en diferentes tipos.

El nivel de descripción de un modelo puede ir desde el atómico hasta el planetario. Los modelos utilizados en producción animal van desde el nivel de macromoléculas (Gill et al., 1989), pasando por el de órgano (Baldwin et al., 1987), el nivel animal - que es el más común en los modelos de vacuno de carne- (Sanders y Cartwright, 1979; Bruce et al., 1984; Davis et al., 1994; Naazie et al., 1997), y el de rebaño (Bourdon y Brinks, 1987; Stuth et al., 1999).

Los niveles superiores de definición integran el modelo rebaño con modelos económicos (Spren et al., 1985), o de producción forrajera (Thornton, 1988). Estos modelos de descripción a nivel de explotación o superior permiten, en algunos casos, hacer análisis bio-económicos de nuevas técnicas a partir de las características del suelo (Teitzel et al., 1991) o evaluar las alternativas de actuación sobre el medio y su efecto sobre la producción animal (Mclvor y Money Penny., 1995).

A la hora de construir un modelo es necesario centrar el problema que se quiere

tratar y cual es su objetivo. Es fácil construir un gran modelo que sea de poco valor para los científicos (no aporta nuevos conocimientos), o para los ganaderos (no proporciona predicciones lo suficiente precisas para la toma de decisiones) (France y Thornley, 1984). Aunque la tendencia en la construcción de los modelos es reunir módulos mecanicistas que expliquen diferentes componentes del sistema a niveles de descripción básicos, no se debe perder de vista cuál es el objetivo final del modelo - que muchas veces definirá cuál es la necesidad de profundización en el sistema - Así, según un anónimo de 1960 citado por Gill et al. (1989), *“Un modelo, como un mapa, no puede representarlo todo. Si lo hiciese ya no sería un modelo, sino un duplicado. Así la clásica definición del arte, ‘la purga de lo superfluo’, también se puede aplicar al modelo y el problema del diseñador de modelos es distinguir entre lo superfluo y lo esencial”*.

### **1.2.2 Utilización de modelos estocásticos en sistemas de producción de vacas nodrizas**

Los modelos deterministas hacen predicciones definitivas a partir de variables determinadas, mientras que los estocásticos permiten introducir elementos de incertidumbre en el comportamiento del sistema a través de la consideración de distribuciones de probabilidad adecuadas (France y Thornley, 1984).

Un fenómeno estocástico es aquel que depende del azar. La inclusión del concepto de azar o aleatorización en los modelos se puede efectuar, entre otras, mediante técnicas basadas en los métodos de Monte Carlo (Hammersley y Handscomb, 1964), y mediante la teoría de las cadenas de Markov (Kemeny y Snell, 1960).

La teoría de las cadenas de Markov tiene como base central, que un componente de un sistema se puede definir por un número finito de estados. La evolución dinámica de un componente se puede definir por transiciones de estado. La distribución de los estados en un cierto momento se obtiene de la distribución en un momento dado y de la probabilidad de transición entre diferentes estados.

El uso de cadenas de Markov en modelos de producción animal no es tan común como en modelos económicos (Jalvingh et al., 1992). En producción animal han sido

principalmente utilizadas para simular el contagio de enfermedades (Dijkhuizen, 1989). Otra aplicación común de las cadenas de Markov es la programación dinámica para determinar las decisiones de desvieje óptimas en vacuno de carne (Azzam y Azzam, 1991), estrategias de cruzamientos entre razas (Azzam y Azzam, 1994), e incluso para determinar el efecto sobre la producción de leche de la duración del periodo de secado en vacuno (Sorensen et al., 1993).

Los modelos estocásticos basados en el método de Monte Carlo utilizan las técnicas de generación de números aleatorios. Ciertos parámetros que definen a los animales simulados se consideran como estocásticos por tener una componente aleatoria entre individuos. Los valores de dichos parámetros, para los animales de la muestra simulada, se obtienen mediante un muestreo de una distribución de probabilidad determinada. Mediante esta técnica se puede simular un grupo de animales con características individuales diferentes y seguir su evolución durante un periodo de tiempo determinado para obtener la respuesta individual de cada animal y la varianza de la respuesta.

En producción animal, el uso de modelos de simulación deterministas implica la simulación de un animal medio, que tiene las características medias del conjunto de animales que se quiere simular. En cambio, la modelización estocástica simula los animales de forma individual (asignándole ciertas características a partir de las distribuciones que siguen las variables estocásticas del modelo). El resultado de la simulación no sólo es el valor medio de las variables del modelo, que es la media de cada una de las respuestas individuales, sino una medida de la variabilidad de la respuesta.

Aunque computacionalmente la simulación y seguimiento de un gran número de individuos es muy costosa, la potencialidad de los ordenadores actuales hace viable la utilización de estos modelos incluso en ordenadores personales. Los modelos estocásticos, en los que se simulan animales individualmente para establecer el comportamiento medio del lote o de un rebaño de vacas, han sido utilizados en diferentes campos: en el estudio del efecto del manejo y de las políticas de desvieje en vacuno de leche (Dijkhuizen et al., 1986); en el análisis del contagio y eliminación de enfermedades contagiosas en un rebaño (Hurd et al., 1995; Sorensen et al., 1995; Innocent et al., 1997; Tsutsui et al., 1997); en la simulación de alternativas relacionadas con la reproducción de vacas nodrizas y de leche (Johnson y Notter, 1987; Azzam et al., 1990; Werth et al., 1991; Pleasants, 1997); en la simulación

genética y análisis de esquemas de mejora en vacuno de carne (Keller et al., 1990; Schrooten et al., 1992) ;e incluso en el análisis de diferentes sistemas de ordeño en vacuno de leche (Burks et al., 1989).

Pocas aplicaciones inciden en la componente productiva del sistema desde el punto de vista estocástico, entendida como la variabilidad individual de parámetros como las necesidades de mantenimiento, o el potencial de producción de leche y de crecimiento de los animales jóvenes. Así como en porcino existen modelos con componentes productivas estocásticas, tanto para animales en crecimiento (Ferguson et al., 1997) como en cerdas productoras (Pomar et al., 1991), las componentes estocásticas en vacas nodrizas se reducen a la parte reproductiva, excepto en algunos casos en los que se introduce la estocasticidad en la producción, para el análisis de alternativas nutricionales en vacuno de leche (Ostergaard et al., 1996).

Dada la complejidad de la respuesta del animal a unos aportes nutricionales determinados, la respuesta “causa-efecto” del animal medio será siempre diferente de la respuesta media de la población, aunque estas diferencias puedan ser pequeñas en algunos casos (Oldham y Emmans, 1990; Ferguson et al., 1997). Los modelos estocásticos permiten al investigador estudiar como los efectos sobre el animal se expresan a nivel de rebaño (Sorensen et al., 1992).

La utilización de modelos estocásticos se justifica aún más cuando se intenta modelizar los sistemas de producción de vacas nodrizas. En este tipo de producción los animales se gestionan en lotes heterogéneos, en muchos casos un solo lote, en otros se distingue el lote lactante y en el mejor de los casos se establece un sistema de agrupamiento en función del estado fisiológico y de reservas de los animales.

Por esta razón, las vacas nodrizas se agrupan en lotes con una gran variabilidad intralote, no sólo en cuanto a sus características productivas, sino también en cuanto a su estado fisiológico (Ingrand, 1999). Desde el punto de vista nutricional, los animales reciben dietas que dependen más de la época del año que de las necesidades individuales del animal. Todo ello hace más grande la diferencia entre la respuesta del animal medio (con una fecha de parto media) y la media del lote. El uso de modelos en los que se simula a los animales de forma individual permite tener en cuenta la variabilidad de los animales que componen un lote, tanto es sus características productivas como en la fecha de parto.

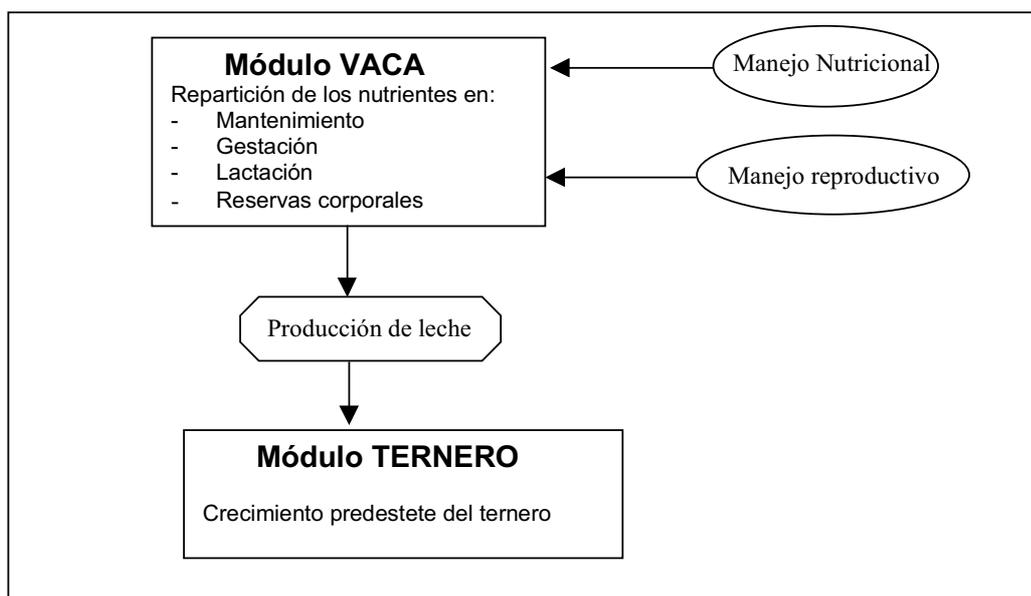
### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL MODELO

La modelización estocástica del sistema de producción de vacas nodrizas en el Pirineo a nivel de rebaño o lote, debería ser uno de los submodelos que junto con el entorno económico, físico y social, permitieran un análisis global de cualquier alternativa de manejo.

El modelo rebaño o lote (ver Figura 1.2) debería predecir las producciones o rendimientos animales a partir de una pauta de manejo nutricional, reproductivo y sanitario. De esta forma sería posible analizar las diferentes alternativas de gestión nutricional de los animales - muy relacionadas con la época de parto - y sus implicaciones reproductivas.

El modelo tendrá básicamente dos módulos: el módulo VACA (relacionado con el manejo nutricional y el reproductivo) y el módulo TERNERO. El módulo TERNERO estará relacionado con el módulo VACA mediante la producción de leche de la madre, modificada básicamente por la nutrición de la vaca.

**Figura 1.2 Estructura modular del modelo de simulación de un lote de vacas nodrizas**



Dada la estructura de la gestión de los recursos pastables ya comentada, el manejo nutricional dispondría de una parte variable y difícilmente controlable, el pastoreo, y de una fija y controlable, la estabulación.

Los modelos estocásticos, pese a las ventajas descritas, tienen el inconveniente de que demandan más información sobre el sistema que pretenden simular. Un modelo determinista tiene como entradas las medias de los parámetros que definen el sistema, pero cuando se introducen componentes estocásticas se debe conocer la distribución y variabilidad de dichas componentes, así como las relaciones que existen entre ellas.

Para la construcción de un modelo estocástico es necesario definir los parámetros del modelo que se simularán de forma estocástica, y obtener, de una forma u otra, información sobre su variabilidad individual y sobre su distribución en el rebaño o raza a simular, tanto para el módulo VACA - serán parámetros relacionados con la repartición de nutrientes y la producción de las vacas -, como para el módulo TERNERO - parámetros relacionados con el potencial de crecimiento de los terneros-.

Un modelo de simulación como el planteado permitiría el análisis de alternativas de manejo alimenticio durante la invernada. Especialmente se debería evaluar la idoneidad de una subnutrición durante la estabulación, y su relación con los rendimientos en pastoreo, en función de la época de parto del rebaño.

La época de parto condiciona el aprovechamiento de los recursos pastables por parte de los animales (para una discusión ver Casasús, 1998), pero también afecta a la forma en que se gestionan las reservas corporales. Los resultados del análisis de los aportes energéticos realizados durante la estabulación en vacas de raza Parda Alpina explotadas en el Pirineo (Casasús, 1998) demuestran que es necesaria una gestión diferenciada en establo de las vacas de paridera de primavera y de las de otoño. La paridera de primavera limita la subnutrición durante la invernada, puesto que los animales deben efectuar en establo la recuperación de reservas que no han podido realizar durante el pastoreo. La paridera de otoño permitiría una mayor subnutrición invernal que la de primavera, al entrar los animales en establo con un nivel de más alto de reservas.

Por otro lado, la simulación puede servir para efectuar una primera aproximación al

efecto que sobre la producción del rebaño tienen las nuevas alternativas de manejo durante la estabulación, acordes con el aprovechamiento por parte de los animales de los nuevos espacios y momentos de pastoreo.



## **2. OBJETIVOS**

---



---

## 2. OBJETIVOS

La modelización estocástica es una metodología que se ha comprobado útil para el análisis global de sistemas complejos. Las nuevas políticas de extensificación plantean nuevos retos a la explotación tradicional de las razas de vacuno de carne en zonas de montaña, particularmente en lo que concierne a la estrategia de manejo invernal durante la estabulación. La construcción de un modelo estocástico de simulación de rebaños de vacas nodrizas puede contribuir a analizar y discernir entre las diferentes alternativas de manejo. Para desarrollar un modelo como el propuesto es necesario elaborar un submodelo que describa el metabolismo energético dentro del conjunto que forman la pareja vaca y ternero. De acuerdo con esto, los objetivos planteados en la presente Memoria son:

1. Obtener una valoración de las necesidades de mantenimiento de vacas de raza Parda Alpina y definir un modelo de reparto de la energía metabolizable en vacas nodrizas.
2. Obtener parámetros sobre las pautas de crecimiento predestete de terneros de dos de las razas más utilizadas en el Pirineo, la Parda Alpina y la Pirenaica.
3. Construir y validar un modelo estocástico para la simulación de sistemas de producción de vacas nodrizas a nivel de lote o rebaño.
4. Analizar diferentes alternativas de manejo durante la estabulación invernal mediante un modelo estocástico de simulación.



### **3. DESCRIPCIÓN DE UN MODELO DE REPARTICIÓN DE LA ENERGÍA EN VACAS NODRIZAS**

---



### 3.1 INTRODUCCIÓN

La representación de un sistema o de una parte de él mediante un modelo se basa en la integración de submodelos que explican separadamente diferentes componentes del sistema (Black, 1995b). Uno de los submodelos a considerar en el caso de la producción de vacas nodrizas es el que forman la pareja VACA-TERNERO y que tiene por objeto predecir las producciones obtenidas en función de la estrategia de alimentación.

En este capítulo se describe uno de los módulos que forma el submodelo, el que modeliza a la vaca. Posteriormente (ver capítulo 4) se ha desarrollado un modelo empírico que describe el crecimiento de los terneros desde el nacimiento hasta el destete, y finalmente (capítulo 5) se han reunido los dos módulos en uno que simula el conjunto VACA-TERNERO.

La mayoría de los modelos en los que interviene la vaca adulta se basan en la distribución de la energía consumida hacia los diferentes compartimentos en que se dividen las necesidades del animal: mantenimiento, gestación y lactación (Sanders y Cartwright, 1979; Kahn y Spedding, 1983; Bruce et al., 1984; Thornton, 1988), pero la gestión de las reservas corporales, de gran importancia en el ciclo productivo de las nodrizas, también debe ser modelizada. La evolución de las reservas se puede relacionar con la reproducción de la vaca y con los rendimientos productivos posteriores, mientras que la variación del compartimento lactación afectará a los rendimientos del ternero.

La utilización de modelos estocásticos para la simulación de sistemas productivos permite tener en cuenta la variación entre animales en lugar de simular un animal medio (Knap, 1995; Ferguson et al., 1997), pero implica el conocimiento de la variabilidad individual para algunos de los parámetros que intervienen en el modelo.

Estudios en vacuno de carne centrados en la ingestión (Ingrand y Agabriel, 1997; Casasús, 1998) y en las necesidades de mantenimiento (ver Ortigues, 1991) muestran variaciones importantes entre individuos. Esta variabilidad individual puede

conducir a diferencias entre animales en el aprovechamiento de la energía bruta de los alimentos (EBa).

Veerkamp y Emmans (1995) concluyen que las fuentes de variación más importantes en la eficiencia de aprovechamiento de la energía bruta de los alimentos (EBa) en vacuno de leche son la producción lechera, la capacidad de ingestión y la movilización del reservas corporales. Korver (1988), en una revisión sobre aspectos genéticos que afectan a la eficiencia de alimentación en vaca de leche, concluye que hay poca variación entre animales en cuanto a digestión y eficiencia de utilización de la energía metabolizable para producción, pero señala que hay evidencias claras de variación individual en la ingestión y en la energía metabolizable necesaria para el mantenimiento.

La variabilidad individual en el módulo vaca debe representar el potencial productivo de cada animal, así como el diferente aprovechamiento de la energía bruta de los alimentos.

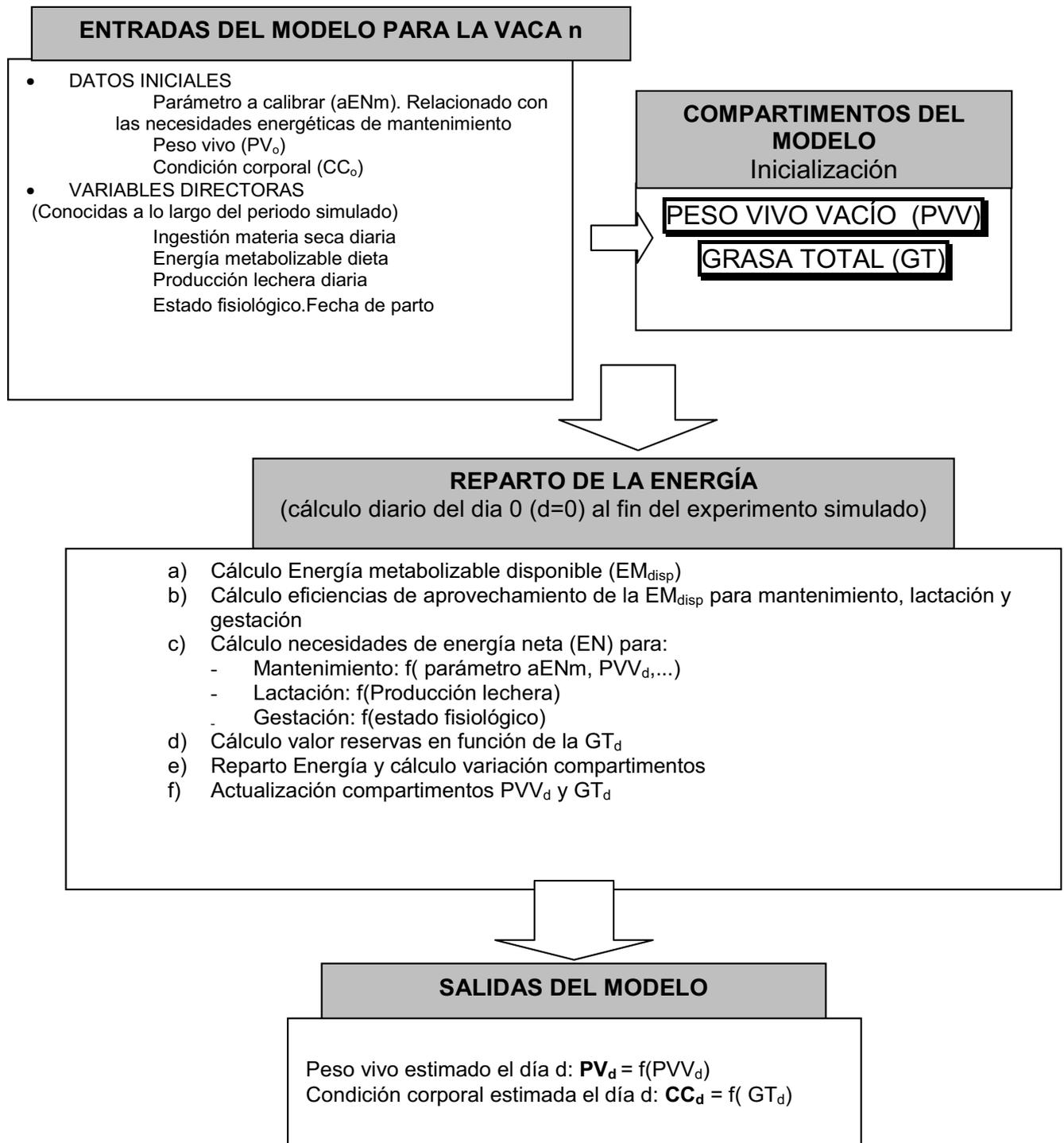
En el presente capítulo se plantea un modelo de repartición de la energía y utilización de las reservas corporales en vacuno de carne basado en las recomendaciones del AFRC (A.F.R.C., 1990) y del INRA (Agabriel y Petit, 1987).

Con el objeto de evaluar la variabilidad en el aprovechamiento de la EBa se estimará el valor medio y la variabilidad de una de sus posibles componentes, la energía necesaria para mantenimiento de las vacas. La obtención de dicho parámetro se efectuará calibrando el modelo de repartición de la energía, a partir de datos productivos reales de animales de raza Parda Alpina estabulados.

## **3.2 MATERIAL Y MÉTODOS**

El modelo VACA es básicamente una rutina de reparto de la energía metabolizable ingerida (ver Figura 3.1). A partir de las necesidades teóricas para mantenimiento, de las necesidades de producción y de los aportes de la dieta, se pretende obtener la variación de peso y de condición corporal de la vaca. Utilizando dichas variaciones, obtenidas con un intervalo de simulación de un día, y partiendo de los valores iniciales se simulan la evolución diaria del peso vivo y condición corporal.

Figura 3.1 Esquema del modelo de reparto de la energía metabolizable ingerida en el módulo  $VACA_{(1)}$



(1) Para detalles de las abreviaturas y cálculos ver texto y lista de abreviaturas.

Se han utilizado como base las ecuaciones de predicción relacionadas con la nutrición energética obtenidas por el ARC y AFRC (A.R.C., 1980; A.F.R.C., 1990) y por el INRA francés (I.N.R.A., 1978; Agabriel y Petit, 1987; Chilliard et al., 1987).

### 3.2.1 Entradas del modelo

Los datos iniciales del modelo son el peso vivo ( $PV_o$ ), y la condición corporal ( $CC_o$ ) según la escala propuesta por Lowman et al. (1976). En la Tabla 3.1 se presentan las entradas conocidas a lo largo de todo el experimento (las variables directoras) que describen el nivel de alimentación y producción de la vaca.

**Tabla 3.1 Variables directoras del modelo que definen la ingestión y producción de cada animal**

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>
Energía metabolizable de la dieta (MJ EM /Kg MS )	$EM_{diet}$
Concentración energética de la dieta	$qm^a$
Ingestión necesaria para mantenimiento (Kg MS)	$Ing_{mant}^b$
Ingestión total (Kg MS)	$Ing$
Energía metabolizable ingerida (MJ EM)	$EM_{ing}$
Cantidad de concentrado ingerido (kg MS)	$Ing_{conc}$
Producción de leche (kg)	PL
Contenido grasa de la leche (g/kg)	grasa_l
Contenido proteína de la leche (g/kg)	prot_l

<sup>a</sup>  $qm = EM_{diet} / EB$ ; EB: Energía Bruta media de la dieta (estimada en 18.4 MJ)

<sup>b</sup>  $Ing_{mant} = EM_{mant} / EM_{diet}$ ;  $EM_{mant}$ : EM mantenimiento de una vaca media (60 MJ)

### 3.2.2 Compartimentos del modelo

Los dos compartimentos básicos del modelo son el Peso Vivo Vacío (PVV) y la Grasa Total (GT). Los valores iniciales de los dos compartimentos se calculan en función del peso vivo inicial ( $PV_o$ ) y la condición corporal inicial ( $CC_o$ ).

**Peso Vivo Vacío (PVV).** El A.R.C. (1980) propone la relación [3.3] entre el PVV de la vaca y su peso vivo. Esta relación está propuesta para vacas con una ingestión de materia seca que cubre las necesidades de mantenimiento ( $Ing_{mant}$ ). Para tener en cuenta el incremento de contenido digestivo ( $\Delta cd$ ) debido a una ingestión ( $Ing$ ) superior a mantenimiento, se propone la siguiente ecuación:

$$\Delta cd \text{ (kg)} = a * (Ing - Ing_{mant}) \quad [3.1]$$

Siendo  $a$  el incremento de contenido digestivo por cada kg de materia seca ingerido por encima del necesario para mantenimiento. A partir de los datos que ofrece el ARC (1980) se asigna al parámetro  $a$  un valor de 4 kg en el caso de tratarse de forrajes secos y 2 kg en el caso de dietas mixtas o forrajes verdes.

Para obtener el PVV en animales en gestación, se calcula el peso del feto y anejos (utgrav) según la propuesta del INRA (1978):

$$utgrav(kg) = \left[ \left( e^{(-6.43 + 1.728 \times \ln(dg)) \times \frac{PN}{37.8}} - (2.43) + \left( PN \times e^{2.748 \times (1 - e^{0.00487 \times (286 - dg)})} \right) \right) \right] \quad [3.2]$$

siendo  $dg$  el día de gestación y  $PN$  el Peso al nacimiento del ternero que gesta (kg).

Así pues, la ecuación final de relación entre el PV y el PVV es la siguiente

$$PVV_d \text{ (kg)} = (PV_d - \Delta cd) / 1.09 - utgrav \quad [3.3]$$

**Grasa Total (GT).** La relación entre condición corporal y grasa total se obtiene de los datos presentados por Chilliard et al. (1987):

$$GT_d \text{ (kg)} = (CC_d - 1.25) * 36 + 45 \quad [3.4]$$

### 3.2.3 Reparto de la energía

Una vez definidos los valores iniciales de los dos compartimentos, se inicia el cálculo de su variación diaria, a partir de la energía ingerida por el animal y los gastos energéticos de mantenimiento y producción.

#### a) Energía metabolizable disponible ( $EM_{disp}$ ).

La  $EM_{disp}$  se obtiene a partir de la ingestión de energía metabolizable total ( $EM_{ing}$ ) corregida por la cantidad de concentrado ( $Ing_{conc}$ ) que incluye la dieta. Para ello se parte del coeficiente de corrección  $C_1$  [3.6], propuesto por Broadbent et al. (1984) y utilizado en la validación de su modelo NOSCOW, que tiene en cuenta la depresión de la digestibilidad que puede provocar el almidón sobre otros componentes de la dieta.

$$EM_{disp} \text{ (MJ)} = EM_{ing} * C_1 \quad [3.5]$$

$$C_1 = 1 - (0.1364 * (Ing_{conc} / Ing)) \quad [3.6]$$

#### b) Cálculo de las eficiencias de aprovechamiento de la $EM_{disp}$ .

Las eficiencias de aprovechamiento de la energía dependen de la concentración energética de la dieta ( $qm$ ) y del nivel de alimentación ( $L$ ). Pero el nivel de alimentación es función de la energía metabolizable para mantenimiento y por tanto de la energía neta para mantenimiento ( $EN_{mant}$ ) y de su eficiencia ( $k_m$ ). Para poder estimar  $L$  y  $k_m$  se implementa un bucle que calcula  $qm$ ,  $k_m$ ,  $L$  y  $EN_{mant}$  de forma iterativa.

Se efectúa una primera estima  $EN_{mant}$  para calcular el nivel de alimentación ( $L$ )

$$EN_{mant} \text{ (MJ)} = a_{EN\_m} * (PVV_d)^{0.67} + 0.0071 * PV_d \quad [3.7] \text{ ARC, 1980}$$

siendo  $a_{EN\_m}$  el parámetro que define las necesidades energéticas de mantenimiento de cada animal.

La primera aproximación de  $L$  se efectúa tomando 0.7 como valor para la eficiencia de utilización de la energía metabolizable para mantenimiento ( $k_m$ ):

$$L = EM_{ing}/(EN_{mant}/k_m) \quad [3.8]$$

Se corrige  $qm$  en función del nivel de alimentación para tener en cuenta la no linealidad de la energía retenida al aumentar la energía metabolizable del alimento (A.R.C., 1980):

$$qm_2 = qm + (L-1) * (0.2 * (qm - 0.623)) \quad [3.9]$$

Se calcula la  $k_m$  según la ecuación (AFRC, 1990):

$$k_m = 0.35 * qm + 0.503 \quad [3.10.1]$$

El programa calcula las ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.10.1 hasta que la variación de  $L$  es inferior a 0.01

El resto de eficiencias de utilización de la energía metabolizable basadas en las propuestas del AFRC (1990) son:

Eficiencia de utilización de la energía metabolizable de la dieta para:

$$\text{producción de leche: } k_l = 0.35 * qm + 0.42 \quad [3.10.2]$$

$$\text{gestación: } k_g = 0.133 \quad [3.10.3]$$

Eficiencia para la deposición y utilización de reservas de vacas secas

$$k_f = 0.78 * qm + 0.006 \quad [3.11]$$

Eficiencia de utilización de las reservas para:

$$\text{gestación: } k_{rg} = 0.665 \quad [3.12.1]$$

$$\text{lactación: } k_{rl} = 0.84 \quad [3.12.2]$$

Eficiencia de depósito de reservas en:

$$\text{gestación: } k_{fg} = 0.6 \quad [3.13.1]$$

$$\text{lactación: } k_{fl} = 0.95 * k_l \quad [3.13.2]$$

Por último, el ARC (1980) asume que no toda la disminución de la energía retenida se puede explicar por la  $q_m$  (ecuación 3.9) y propone un coeficiente ( $C_2$ ), que es función de  $L$ , para corregir la  $EM_{disp}$ :

$$C_2 = 1 + 0.018 \cdot (L - 1) \quad [3.14]$$

**c) Cálculo de las necesidades de energía neta.**

Las necesidades de energía neta para gestación ( $EN_{gest}$ ) y producción de leche ( $EN_{leche}$ ) se obtienen según las ecuaciones propuestas por el ARC (1980)

$$EN_{gest} \text{ (MJ)} = \frac{PN}{4} \times (E_t \times 0.0201 \times e^{(-0.0000576 \times dg)}) \quad [3.15]$$

$$\text{siendo } E_t = 10^{(151.665 - 151.64 \times e^{(-0.00576 \times dg)})} \quad [3.16]$$

Las necesidades para producción de la vaca dependen de la producción lechera ( $PL$ ), del contenido de grasa ( $grasa\_l$ ) y proteína ( $prot\_l$ ).

$$EN_{leche} \text{ (MJ)} = PL \times (0.0376 \times grasa\_l + 0.0209 \times prot\_l + 0.948) \quad [3.17]$$

**d) Cálculo del valor de las reservas.**

Para el cálculo del valor energético de las reservas es necesario conocer el contenido de agua, grasa y proteína de cada kg de peso vivo vacío movilizado.

Se definen dos contenidos de materia seca de las reservas corporales ( $MS_{rc}$ ), dado que se han observado diferentes valores en función de si se depositan o si se movilizan (Chilliard et al., 1987; A.F.R.C., 1990; Ortigues, 1991).

$$\text{Variación de peso positiva} \rightarrow MS_{rc} = 0.785 \quad [3.18]$$

$$\text{Variación de peso negativa} \rightarrow MS_{rc} = 0.65 \quad [3.19]$$

Se supone que ni toda la grasa ni toda la proteína pueden ser movilizadas, y que la proporción disponible ( $gr\_d$  y  $prot\_d$  para grasa y proteína, respectivamente) es función de la condición corporal de la vaca. Las ecuaciones 3.20 y 3.21 se obtuvieron a partir de los datos recogidos por Chilliard et al. (1987) en vacas de diferentes condiciones corporales.

$$gr\_d (\%) = 0.1078 \cdot CC + 0.4652 \quad [3.20]$$

$$prot\_d (\%) = -0.1078 \cdot CC + 0.5348 \quad [3.21]$$

El valor de las reservas ( $VAL\_res$ ) tiene en cuenta el valor energético de la grasa y la proteína y la materia seca de la variación de peso.

$$VAL\_res (MJ /Kg PVV) = (39.3 \cdot gr\_d + 23.4 \cdot prot\_d) \cdot (MS_{rc}) \quad [3.22]$$

#### e) Reparto de la energía.

Una vez definidas las necesidades, los aportes y el valor de las reservas se pasa a la rutina de reparto de la energía metabolizable ingerida. El primer compartimento que se cubre es el de mantenimiento, después el de gestación y por último la lactación, teniendo en cuenta las eficiencias de utilización de la energía metabolizable de la dieta (ecuaciones 3.10 a 3.13) multiplicadas por el factor  $C_2$  (función del nivel de alimentación).

En el caso de que algún compartimento energético no se cubra, se utilizan las reservas corporales con la eficiencia definida en las ecuaciones (ecuaciones 3.10 a 3.13), y se produce una variación de peso vivo vacío ( $VPVV$ ) negativa.

Si la Energía ingerida supera las necesidades, se produce un depósito de reservas ( $VPVV$  positiva) con la eficiencia correspondiente en función del estado fisiológico de la vaca.

#### f) Actualización PVV y GT.

El compartimento PVV se actualizará a partir de la  $VPVV$  calculada. Para poder actualizar el compartimento GT se debe conocer el % de grasa de la variación de peso.

Se calcula el porcentaje de grasa de la variación de peso ( $gr\_var\_peso$ ) a partir del contenido de grasa de las reservas corporales movilizadas o depositadas ( $gr\_d$ ) como:

$$gr\_var\_peso = gr\_d * MS_{rc} \quad [3.23]$$

Finalmente se actualizan los dos compartimentos. Grasa Total y Peso Vivo Vacío:

$$PVV_{d+1} = PVV_d + VPVV \quad [3.24]$$

$$GT_{d+1} = GT_d + VPVV * gr\_var\_peso \quad [3.25]$$

### **3.2.4 Salidas del modelo**

A partir del valor del compartimento el día  $d$ , se calculan los valores de las variables de salida del modelo, Peso vivo y CC:

$$PV_{d+1} = 1.09 * (PVV_{d+1} + utgrav) + \Delta cd \quad [3.26]$$

$$CC_{d+1} = ((GT_{d+1} - 45) / 36) + 1.25 \quad [3.27]$$

El modelo incrementa el valor del día, y se reinicia el bucle desde la ecuación [3.4] hasta dar por terminado el periodo estudiado.

### **3.2.5 Calibración del modelo**

Como se ha planteado en la introducción, existen diversas componentes del aprovechamiento de la EBa que pueden tener variabilidad individual. Para la calibración del modelo sólo se consideró la estimación de las necesidades energéticas de mantenimiento, en concreto del valor del parámetro  $a_{EN_m}$  de la ecuación [3.7], a partir de datos reales.

Para obtener una estima de las necesidades energéticas de mantenimiento y de su variabilidad se utilizó la técnica de "modelización inversa" (Baldwin, 1976). Esta técnica se basa en asignar un valor inicial al parámetro desconocido del modelo, (en este caso el coeficiente ( $a_{EN,m}$ ) que determinará la energía necesaria para mantenimiento para cada animal); calcular, utilizando este valor y datos sobre la alimentación, la variación de peso estimada; comparar estos valores estimados con los datos experimentales y calcular para esta comparación una estima del error (en este caso el error cuadrático medio); y permitir una rutina informática que sistemáticamente ajuste el valor del parámetro de forma iterativa para minimizar el error entre los datos simulados y reales.

**Tabla 3.2 Descripción de los experimentos utilizados en la calibración del modelo para las necesidades de mantenimiento**

	Experimento A	Experimento B	Experimento C <sup>c</sup>
<b>Estado fisiológico</b>	Lactación	Lactación	Gestación
<b>Número de vacas</b>	18	16	40
<b>duración experimento (d)</b>	150	150	63
<b>Alimentos</b>	alfalfa <sup>b</sup> [10.1]	alfalfa <sup>b</sup> [10]	alfalfa <sup>b</sup> [8.9]
<b>[MJ EM/Kg MS]</b>	Paja cebada [5.9] Harina de cebada [13.2]	Paja cebada [5.8] Harina de cebada [12.5]	Paja cebada [6.1] Heno de Pradera [8.8] Soja [13.0]
<b>EM ingerida media<sup>a</sup></b>	84 (63;123)	110 (82;142)	109 (66;179)
<b>(MJ EM/d)</b>			
<b>Peso Medio vaca (kg)<sup>a</sup></b>	571 (508;652)	580 (491;692)	604 (491;723)
<b>Producción leche (kg/d)<sup>a</sup></b>	7.3 (3.2;11.2)	8.3 (4.8;11.5)	-
<b>Variación peso durante experimento<sup>a</sup> (kg)</b>	-33 (-75;+33)	-33 (-70;+26)	51 (-10;+104)
<b>Condición corporal Inicial<sup>a</sup></b>	2.5 (2.25;2.75)	2.5 (1.75;2.75)	2.5 (1.75;3)

<sup>a</sup> Media (mínimo;máximo)

<sup>b</sup> Alfalfa deshidratada, molida y aglomerada en cubos

<sup>c</sup> Experimento descrito con mayor detalle en Casasús (1998)

Se utilizaron datos de 34 vacas lactantes de raza Parda Alpina, con más de 3 partos, procedentes de 2 experimentos realizados en los años 1995 y 1996 (experimentos A y B) en la finca experimental “La Garcipollera” del SIA-DGA. También se utilizaron los datos de 40 vacas secas y gestantes de la misma raza y procedentes de un solo experimento (C) del año 1996. En ambos casos se disponía de las características iniciales de todas las vacas: Peso Vivo (PV<sub>real</sub>), condición corporal (CC<sub>real</sub>), día de gestación y peso al nacimiento del ternero que gestaban. En todos los experimentos se controló de forma individual la ingestión diaria de materia seca y de energía metabolizable y la producción lechera de forma semanal. En el conjunto de las tres experiencias se disponía de entre 7 y 19 pesos por vaca. Las características de los experimentos se muestran en la Tabla 3.2.

Se simuló la evolución de pesos de todas las vacas a partir de sus datos iniciales para 25 valores de  $a_{EN_m}$  entre 0.3 y 0.9. Se calculó el error cuadrático medio (ECM) entre los PV predichos por el modelo (PV<sub>est</sub>) y los pesos observados (PV<sub>obs</sub>) y se consideró como valor óptimo de cada vaca el valor de  $a_{EN_m}$  que minimizaba el ECM.

Para comprobar si la variación entre animales del parámetro  $a_{EN_m}$  tenía relación con otros parámetros del modelo que definían al animal, se realizó una regresión paso a paso mediante el procedimiento REG (SAS, 1992) entre el parámetro  $a_{EN_m}$  estimado y las características medias de las vacas. Las variables incluidas en la regresión fueron: ingestión de materia seca media (Ing<sub>med</sub>), energía metabolizable ingerida media (EM<sub>med</sub>), Producción lechera media (PL<sub>med</sub>), condición corporal media (CC<sub>med</sub>) y peso medio (Peso<sub>med</sub>).

### **3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.3.1 Ajuste del modelo**

La tendencia de pesos predicha es muy similar a la observada en todas las vacas simuladas. La Figura 3.2 muestra tres vacas de cada experimento, sus valores observados y la predicción de evolución de peso. El considerar un valor de la energía de mantenimiento diferente para cada animal ha permitido que los pesos predichos por el modelo se ajusten bien a los datos observados.

Si se tienen en cuenta los pesos observados y los predichos de todas las vacas, el ajuste entre ellos tiene un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.95. La pendiente entre pesos predichos y estimados no es diferente de la unidad en ninguna de los tres experimentos,  $1.03 \pm 0.091$ ,  $1.03 \pm 0.016$ , y  $0.97 \pm 0.014$  para los experimentos A, B, y C respectivamente, lo que demuestra el buen ajuste de las predicciones del modelo a los datos reales.

La variación de peso observada y estimada durante los experimentos ( peso final - peso inicial, Figura 3.3) presentan una correlación de 0.87, 0.92 y 0.93 para el experimento A, B y C respectivamente. Las gráficas, así como las correlaciones entre valores observados y predichos, indican un buen funcionamiento del modelo.

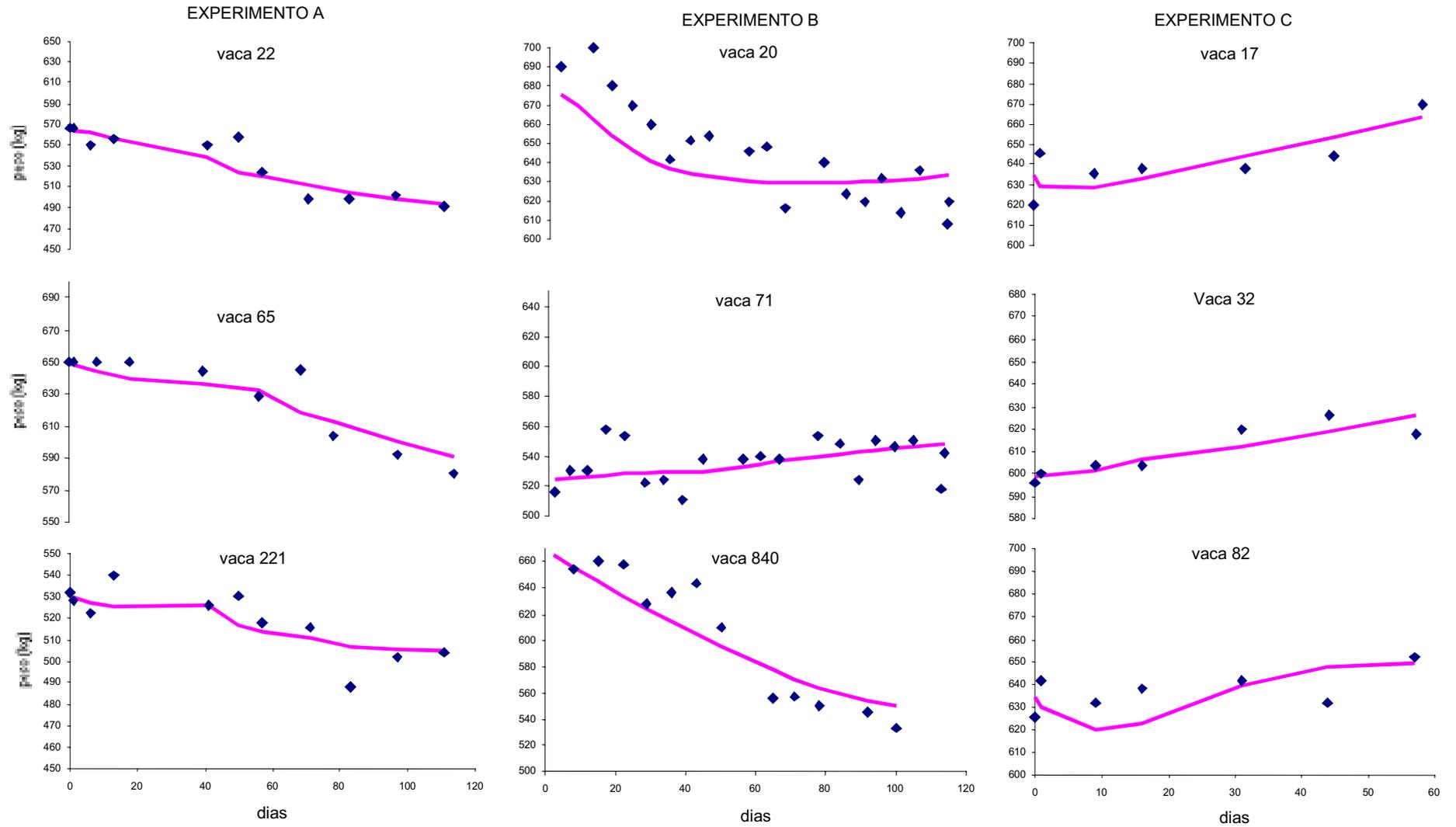
### **3.3.2 Necesidades estimadas de energía neta de mantenimiento.**

El modelo ha permitido obtener un valor del parámetro  $a_{EN_m}$  que minimiza el error cuadrático medio dentro del rango propuesto ( $0.3-0.9$  MJ EN/kg  $PVV^{0.67}$ ) para todas las vacas lactantes. Se han eliminado diez vacas secas del análisis, al no encontrarse un valor mínimo del error cuadrático medio en las condiciones propuestas, por lo que de aquí en adelante sólo se tendrán en cuenta el resto de vacas.

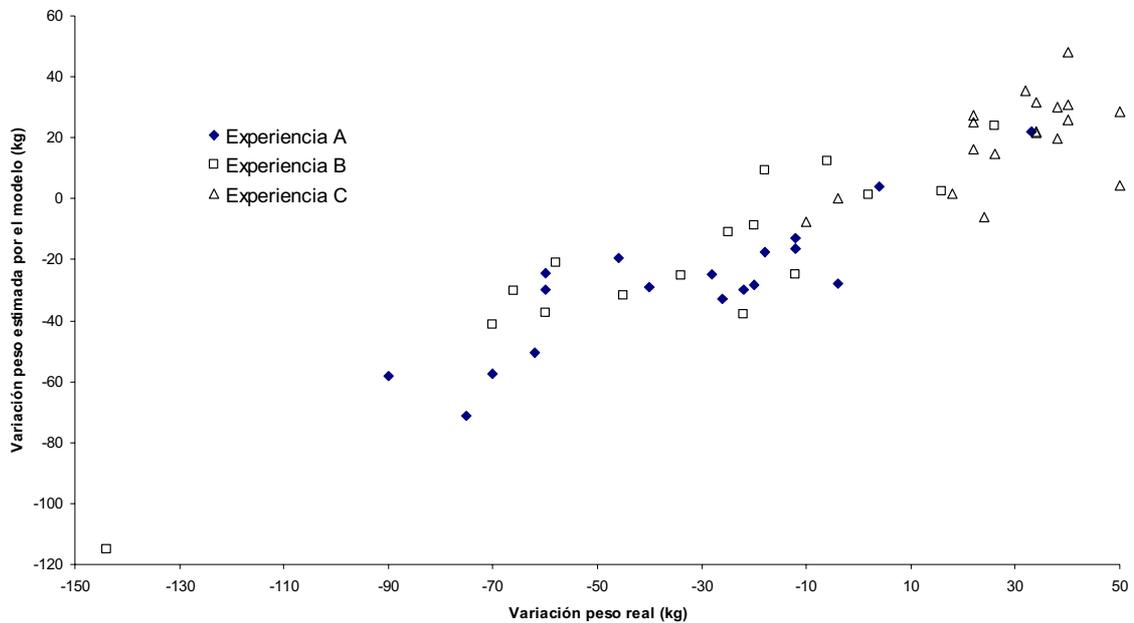
Las vacas lactantes tienen una energía neta de mantenimiento media de los dos experimentos de  $0.54 \pm 0.02$  MJ EN/ Kg  $PVV^{0.67}$ . La energía neta de mantenimiento estimada en vacas secas es de  $0.56 \pm 0.03$  MJ EN/ Kg  $PVV^{0.67}$ . Los valores medios de energía neta de mantenimiento estimados para vacas lactantes y secas se sitúan cerca del valor propuesto por el ARC (1980) de  $0.53$  MJ EN/Kg  $PVV^{0.67}$ .

Si se expresan los valores individuales de necesidades para mantenimiento en energía metabolizable (asumiendo una  $k_m$  de 0.7) y en base a  $PV^{0.75}$ , los valores para vacas lactantes y secas son de 477 y 470 kJ EM/Kg  $PV^{0.75}$ . Estos valores se sitúan en el rango de los valores observados en vacas de aptitud cárnica por diferentes autores: 335-657 kJ EM/kg  $PV^{0.75}$  (Russel y Wright, 1983; Thompson et al., 1983; Ferrell y Jenkins, 1984; Ortigues et al., 1993).

Figura 3.2 Valores observados (◆) y predichos (—) de 3 vacas de cada uno de los experimentos.



**Figura 3.3 Relación entre valores observados y predichos por el modelo para la variación de peso entre el inicio y el fin del experimento.**



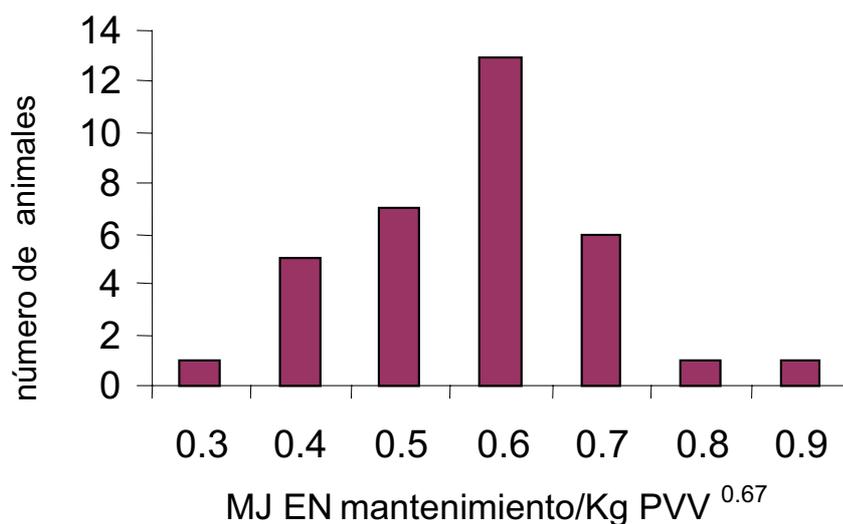
Aunque algunos autores han estimado un incremento de las necesidades de mantenimiento al pasar del periodo seco a la lactación (Petit y Micol, 1981), las estimas obtenidas con el modelo propuesto no muestran diferencias significativas entre las necesidades de energía de mantenimiento de las vacas secas y de las lactantes.

El valor del parámetro  $a_{EN,m}$  del modelo muestra una gran variación. La varianza del parámetro en el caso de los animales lactantes es de 0.015 (que si consideramos que se distribuye como una normal (Figura 3.4) tiene un intervalo de confianza al 95% entre 0.30 y 0.78 MJ EN/Kg  $PVV^{0.67}$ ). Existen pocas referencias acerca de la variabilidad de las necesidades energéticas de mantenimiento. Yan et al. (1997) con 221 estudios calorimétricos realizados en vacas de leche lactantes, obtuvieron valores entre 0.61 y 0.75 MJ/Kg  $PV^{0.75}$ .

En el caso de las vacas secas, la variabilidad es mayor ( la varianza del parámetro es en este caso de 0.029) posiblemente debido a que en el experimento de vacas secas

hubieron grandes diferencias de ingestión de energía metabolizable entre algunos animales (ver Tabla 3.2).

**Figura 3.4 Distribución de las estimas obtenidas del parámetro que define las necesidades energéticas de mantenimiento**



Ya se ha comentado que las fuentes de variación más importantes en la utilización de la EBA provienen de la variación en la ingestión, de las necesidades de mantenimiento y de la movilización de las reservas corporales. Teniendo en cuenta que la ingestión estaba controlada de forma individual, la variación del parámetro  $a_{EN_M}$  debería incluir la posible variación en las necesidades de mantenimiento, pero su variación también puede aumentar por cambios individuales en el valor de las reservas y en la forma en que éstas se utilizan.

En cuanto al valor de las reservas, estudios como el de Alderman et al. (1982) estiman el contenido energético de la variación de peso vivo en  $39.5 \pm 11$  MJ/kg durante la lactación, un valor medio cercano al esperado si sólo se movilizara grasa, pero con una variabilidad tan alta que la utilización del valor medio se ve muy restringida (Oldham y Emmans, 1990). También existen posibles variaciones en la eficiencia de utilización de la energía para depósito o utilización de reservas. Así Kirkland y Gordon (1999) obtienen estimas con gran variabilidad de esta eficiencia en vacas de leche durante la lactación.

Por otro lado, las ecuaciones utilizadas para obtener el contenido en grasa y proteína de las reservas corporales a partir de la condición corporal se basan en observaciones realizadas en vacas lecheras (Chilliard et al., 1987). Su utilización para predecir el contenido energético de las reservas puede estar incluyendo un error que es absorbido por el parámetro  $a_{EN_m}$  y que incrementa su variabilidad.

La forma en que cada animal utiliza la energía ingerida también puede explicar parte de la variación observada (Oldham y Emmans, 1990). Se ha descrito una componente intrínseca del animal en la partición de la energía en depósito de proteína y grasa en porcino (Knap y Jørgensen, 2000). Además, la utilización de la energía para cubrir las diferentes necesidades puede verse modificada por las características de la dieta. Por ejemplo un incremento de concentrado en la dieta puede conllevar un incremento en la energía retenida en vez de destinar la energía ingerida a la producción de leche (Honing y Steg, 1990).

Pese a las correcciones que efectúa el modelo para tener en cuenta el efecto del nivel de alimentación, la producción lechera y el estado de reservas, todas las características medias de la vaca afectan, en mayor o menor medida, al valor del parámetro que define las necesidades de mantenimiento de cada animal (Tabla 3.3). La energía media ingerida y la producción de leche media son las variables que explican en mayor medida la variación del parámetro. La variable que menos aporta es la ingestión media de materia seca.

**Tabla 3.3 Resultados de la regresión paso a paso. Variables de la vaca que explican la variación del parámetro estimado que define las necesidades de energía de mantenimiento**

Orden entrada en el modelo	VARIABLE	R <sup>2</sup> parcial	R <sup>2</sup>	Prob>F
1	EM <sub>med</sub>	0.2959	0.2959	0.0009
2	PL <sub>med</sub>	0.2934	0.5893	0.0001
3	CC <sub>med</sub>	0.1703	0.7596	0.0001
4	Ing <sub>med</sub>	0.0524	0.8119	0.0081

La ecuación resultante del procedimiento paso a paso es la siguiente:

$$\hat{a}_{EN\_m} = 0.927 - 0.085 * Ing_{med} + 0.014 * EM_{med} - 0.043 * PL_{med} - 0.189 * CC_{med}$$

( $R^2=0.81$ )

Una posible causa de la relación entre características de la vaca y sus necesidades de mantenimiento se podría encontrar en relaciones genéticas entre los diferentes caracteres. Estudios en vacuno de leche han encontrado correlaciones genéticas y fenotípicas entre la ingestión, eficiencia, energía de mantenimiento y producción de leche (Buttazzoni y Mao, 1989; Persaud et al., 1991; Freking y Marshall, 1992; Elzakker et al., 1993).

La relación negativa entre  $a_{EN\_m}$  y  $CC_{med}$  se podría explicar por una mayor influencia sobre las necesidades energéticas de mantenimiento del contenido de proteína total que el de grasa, así, animales con el mismo peso pero con mayor CC deberían necesitar menos energía para mantener una menor proporción de proteína (Webster, 1981). Las menores necesidades de vacas con mayor condición corporal podrían reflejar también una sobre valoración de las reservas en vacas con buena condición corporal.

Continúa persistiendo una relación positiva entre la energía de mantenimiento y la energía metabolizable ingerida. Una posible causa sería que la EM ingerida o el tipo de alimento afectase también a la forma de utilización de las reservas corporales.

La relación negativa de  $PL_m$  con las necesidades de mantenimiento estimadas podría ser debida a una sobre estimación del valor energético de la leche, o de la eficiencia de utilización de la energía para la producción de leche (Petit y Micol, 1981).

### **3.4 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO**

i) El modelo de repartición de la energía se ha calibrado para vacas lactantes y vacas secas en gestación. La simulación de pesos vaca a vaca se ha ajustado a los valores observados variando las necesidades de energía para mantenimiento entre vacas.

ii) Las necesidades energéticas de mantenimiento estimadas muestran una gran variabilidad, que tendrá consecuencias cuando se gestione la alimentación de los animales únicamente en base a un modelo determinista.

iii) A la hora de utilizar el submodelo de repartición de la energía dentro de un modelo estocástico para la simulación de lotes de vacas, es necesario tener en cuenta la variación individual de parámetros que definan las necesidades energéticas de las vacas y su eficiencia en la utilización de la energía.



## **4. CURVAS DE CRECIMIENTO PREDESTETE EN TERNEROS DE RAZA PARDA ALPINA Y PIRENAICA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Adaptación del artículo "Prewaning growth curves in Brown Swiss and Pirenaica calves with emphasis on individual variability". Villalba, D., Casasús, I., Sanz, A., Estany, J. y R. Revilla *Journal of Animal Science* 2000. 78:1132-1140



## 4.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se ha descrito un modelo que representa la repartición de la energía en vacas nodrizas. Para la construcción de un modelo que simule a la pareja vaca-ternero es necesario conocer los parámetros que definan el crecimiento de los terneros y dado que el objetivo final es la obtención de un modelo estocástico, se deben obtener estimas de la variabilidad individual dichos parámetros. Para ello es necesario analizar los pesos predestete de los terneros.

Por otro lado, el manejo en los sistemas de producción de vacas nodrizas implica, generalmente, un destete en una fecha fija, con lo que la edad del ternero al destete varía ampliamente. De esta forma, para la evaluación genética y para el análisis técnico y económico se considera un peso al destete ajustado por la edad.

Habitualmente el peso al destete ajustado a la edad se obtiene a partir de una estimación lineal del crecimiento del ternero desde el nacimiento hasta el destete (BIF, 1986). El ajuste lineal ha sido utilizado por varios autores (Gregory et al., 1978; Bolton et al., 1987; Boggess et al., 1991), aunque otros consideran que la no linealidad del crecimiento del ternero puede llevar a un sesgo en el peso al destete ajustado (Brinks et al., 1962; Woodward et al., 1989). Es común disponer sólo de uno o dos registros por animal (nacimiento y destete) (Woodward et al., 1989; Rossi et al., 1992; MacNeil y Snelling, 1996), por lo que las pautas de crecimiento se estiman utilizando un modelo de regresión medio para toda la población.

El uso de modelos mixtos para el análisis de datos longitudinales (varios registros en series temporales) debería proporcionar una caracterización más precisa de la pautas de crecimiento ya que esta metodología permite que algunos parámetros sean fijos y otros varíen entre animales, a través de efectos aleatorios. Los modelos mixtos son un compromiso entre los modelos poblacionales, que no tienen en cuenta la correlación dentro de animal, y los modelos específicos para cada animal que pueden estar sobreparametrizados y que son inadecuados cuando los datos están desequilibrados. Además, la separación de la variación dentro de individuos de la variación entre individuos para cada parámetro de la curva (Andersen y Pedersen, 1996; Littell et al., 1996) puede ser útil para la construcción de modelos de crecimiento de tipo estocástico. Así, las simulaciones se pueden llevar a cabo

utilizando animales con diferentes pautas de crecimiento en vez de un animal medio con los parámetros medios de la población (Werth et al., 1991; Davis et al., 1994).

El objetivo de este estudio fue estimar las curvas de crecimiento predestete de los terneros de dos razas ampliamente utilizadas en el Pirineo, la Parda Alpina y la Pirenaica, y el efecto sobre ellas de los factores ambientales, especialmente la época de parto y el nivel de alimentación postparto de sus madres. También se obtuvieron las estimas de la variación individual de los parámetros que describen la curva utilizando un modelo lineal con coeficientes aleatorios.

## 4.2 MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.2.1 Animales

Las dos razas de vacas nodrizas utilizadas en este análisis fueron la Parda Alpina (PA) y la Pirenaica (PI). La vaca Parda Alpina (también conocida como *Bruna dels Pirineus*) fue introducida en el área del Pirineo hace un siglo como una raza de doble aptitud. Actualmente se usa exclusivamente como vaca nodriza y no para ordeño, como en otras zonas. La vaca Pirenaica ha sido utilizada desde hace tiempo en la cara sur de los Pirineos para producción de carne.

Los datos de este estudio fueron obtenidos en la granja experimental de “La Garcipollera” (SIA.-DGA), en el Pirineo Central, desde 1989 a 1997. La granja experimental tiene localizaciones en altitudes que van de 950 a 2200 m y una precipitación media anual de 999 mm.

El manejo tradicional de la zona consiste en un periodo de estabulación invernal y una temporada de pastoreo, en la que los animales utilizan las zonas de puerto (1500-2200 m) durante el verano y las zonas de fondo de valle y boscosas durante primavera y otoño. El manejo reproductivo consiste en que parte del rebaño para en

primavera (marzo a mayo), que es lo típico de las zonas montañosas, y el resto con lo haga en otoño (septiembre a noviembre), como práctica alternativa de manejo. El periodo de partos de primavera incluyó los datos de las dos razas (PA y PI), mientras que en otoño sólo parían vacas PA.

Las vacas con parto de otoño se estabularon inmediatamente antes del parto, y toda la lactación se produjo en el establo. Los terneros no recibieron ningún suplemento hasta el destete a una edad media de 137 días ( variando desde 87 a 175 días). Después del destete, en marzo, las vacas pastorearon en los pastos de fondo de valle y de zonas boscosas durante la primavera, y después en los puertos durante el verano.

Las vacas con parto de primavera se estabularon durante el último tercio de la gestación, y permanecieron en el establo después del parto durante la mitad de la lactación (hasta una edad media del ternero de 110 días, variando desde 62 a 159 días ). La segunda parte de la lactación se produjo durante el verano en los pastos de puerto. Los terneros se destetaron a los 170 días de edad (variando desde 82 a 214 días).

Mientras los terneros estaban en el establo, y siguiendo el manejo típico practicado en los Pirineos, se mantuvieron separados de las vacas y sólo tuvieron acceso a sus madres dos veces al día, de forma que no pudieron acceder al alimento de las vacas. Durante la estabulación, los terneros se pesaron semanal o quincenalmente desde el nacimiento al destete (en terneros de parto de otoño) o a la salida al pasto (en terneros de parto de primavera), de forma que cada animal dispuso de entre 9 y 19 registros de peso.

Además del dato del peso del ternero, se dispuso de otras variables relacionadas con los terneros y sus madres: condición corporal al parto (*CCP*), siguiendo la escala de 0 a 5 propuesta por Lowman et al. (1976); *AÑO* en el que se tomó el dato (1989 a 1997); época de parto (*EPOCA*), como primavera o otoño: número de PARTO de la madre, definido como primer y segundo parto frente a tercer parto o superior; SEXO del ternero (macho o hembra); y nivel de alimentación postparto de la madre (*NAP*), definido como Alto (más de 90 MJ EM/vaca diarios) y Bajo (menos de 90 MJ EM/vaca diarios).

En total se obtuvieron 4476 pesos registrados en establo de 217 terneros PA ( 127 de partos de otoño y 90 de primavera) y de 101 terneros PI de parto de primavera (Tabla 4.1).

Se disponía en todos los casos de peso al nacimiento (PN), edad (E1), y peso (P1) al final de la estabulación. Los terneros de parto de primavera tenían también datos de la edad (E2) y peso (P2) al destete al final del verano. Las ganancias medias diarias durante la estabulación (GMDe, establo) fueron calculadas como  $GMDe = (P1 - PN)/E1$ , y las ganancias de los terneros de parto de primavera durante el pastoreo de primavera fueron calculadas como  $GMDv = (P2 - P1)/(E2 - E1)$ .

La producción de leche de las madres (PL) fue estimada en 118 animales PA integrando entre 3 y 10 registros por vaca, obtenidos mediante la técnica de doble pesada del ternero (Le Neindre, 1973).

**Tabla 4.1 Descripción del conjunto de datos utilizados para el análisis del crecimiento predestete de los terneros**

Efecto	Número de terneros	Número de registros
Época de parto		
Otoño	127	1781
Primavera	191	2695
Raza		
Parda Alpina	217	3509
Pirenaica	101	967
Nivel alimentación postparto		
Alto	185	2450
Bajo	133	2026
Número de parto		
1 <sup>er</sup> y 2 <sup>o</sup> parto	195	2751
≥ 3 <sup>er</sup> parto	123	1725
Sexo		
Hembra	153	2131
Macho	165	2345

#### 4.2.2 Análisis estadístico

Los datos en establo fueron analizados utilizando el procedimiento MIXED del SAS (Littell et al., 1996) según un modelo lineal con coeficientes de regresión aleatorios. Sólo las interacciones entre raza y año, y entre época de parto y año, fueron significativas en análisis previos de pesos al nacimiento y destete. Por ello el modelo incluyó la interacción AÑO\*RAZA anidada en EPOCA, ya que los terneros Pirenaicos sólo tenían datos en primavera. El peso del animal  $i$  el día  $d$  ( $P_{i,d}$ ) se analizó mediante el siguiente modelo:

$$P_{i,d} = a_{\text{SEXO}} + a_{\text{PARTO}} + a_{\text{AÑO*RAZA(EPOCA)}} + A_i + (b_{\text{SEXO}} + b_{\text{PARTO}} + b_{\text{AÑO*RAZA (EPOCA)}} + b_{\text{NAP}} + B_i) * d + C_{\text{RAZA(EPOCA)}} * d^2 + e_{i,d} \quad [4.1]$$

donde  $a_{\text{SEXO}}$ ,  $a_{\text{PARTO}}$ , y  $a_{\text{AÑO*RAZA(EPOCA)}}$  son los efectos en la ordenada en el origen del sexo del ternero, el número de parto de la madre, y la interacción del año y la raza anidados a la época de parto, respectivamente;  $b_{\text{SEXO}}$ ,  $b_{\text{PARTO}}$ ,  $b_{\text{AÑO*RAZA (EPOCA)}}$ , y  $b_{\text{NAP}}$  son los efectos en el coeficiente lineal del sexo del ternero, el número de parto de la madre, la interacción del año y la raza anidados a la época de parto, y el nivel de alimentación postparto de la vaca, respectivamente; y  $C_{\text{RAZA(EPOCA)}}$  es el efecto en el coeficiente cuadrático de la raza anidada en la época de parto.

En el modelo [4.1], los efectos aleatorios  $A_i$ ,  $B_i$  se distribuyen como una normal multivariada  $N(0, V)$  y  $e_{i,d}$  son independientes  $N(0, \sigma_e^2)$ . La matriz de (co)varianzas es una matriz 2x2 ya que el modelo tiene dos coeficientes aleatorios ( $A_i$ ,  $B_i$ ). Con el objetivo de tener en cuenta la heterogeneidad de la varianza entre razas y estaciones, los parámetros se estimaron dentro de raza y estación. Así, la matriz  $V$  es:

$$V = \begin{pmatrix} \sigma_{A_1}^2 & \sigma_{A_1B_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{A_1B_1} & \sigma_{B_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{A_2}^2 & \sigma_{A_2B_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{A_2B_2} & \sigma_{B_2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{A_3}^2 & \sigma_{A_3B_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{A_3B_3} & \sigma_{B_3}^2 \end{pmatrix} \quad [4.2]$$

donde  $A_1$  ( $A_2$ ;  $A_3$ ) es la ordenada en el origen aleatoria para los terneros Parda Alpina de parto de otoño (Parda Alpina parto de primavera; Pirenaica parto de primavera) y  $B_1$  ( $B_2$ ;  $B_3$ ) es la pendiente aleatoria para los terneros Parda Alpina de parto de otoño (Parda Alpina parto de primavera; Pirenaica parto de primavera).

El modelo asume que la curva de crecimiento de cada individuo sigue un polinomio de segundo grado. El coeficiente cuadrático fue estimado dentro del efecto RAZA(EPOCA) para tener en cuenta las diferencias de crecimiento debidas a la raza del ternero y a la época de parto de la vaca. El valor en el origen ( $a$ ) y el coeficiente lineal ( $b$ ) varían entre individuos y, además, están influenciados por los efectos AÑOxRAZA(EPOCA), SEXO, PARTO y NAP. El modelo separa así la variación dentro de individuos, en términos de  $e_{i,d}$ , de la variación entre individuos, en términos de ( $A_i$ ,  $B_i$ ).

El peso de un animal medio el día  $d$  para la combinación  $i$  de efectos fijos se obtuvo a partir de la solución del modelo [4.1]. Se calcularon dos tipos de errores, el error estándar (e.e.) y el error estándar amplio. El e.e. se calcula a partir de la matriz de (co)varianzas de los efectos fijos estimados ( $V_f$ ) como sigue:

$$e.e._i = \sqrt{(a, bd, cd^2)^T V_f (a, bd, cd^2)} \quad [4.3]$$

donde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  son los vectores de efectos fijos asociados, respectivamente, a la ordenada en el origen, coeficiente lineal y cuadrático.

El e.e. amplio se derivó de la siguiente ecuación:

$$e.e. \text{ amplio} = \sqrt{E.E.^2 + (1, d)^T V_{AB} (1, d) + \sigma_c^2} \quad [4.4]$$

donde  $V_{AB}$  es una submatriz (2x2) de  $V$  para cada RAZA y EPOCA, donde los parámetros desconocidos han sido reemplazados por sus estimas.

El error estándar se utiliza para comparar las curvas medias, y el error estándar amplio para las comparaciones entre individuos o entre diferentes puntos de un individuo.

Se realizó un test  $t$  para comparar pesos a diferentes edades. La significación de las (co)varianzas animales estimadas se obtuvieron mediante el test de Wald (SAS, 1992). Para comparar modelos con diferente estructura de co-varianzas se utilizó un test de razón de verosimilitud (LRT).

Para analizar las relaciones entre el crecimiento en establo y el crecimiento en el pasto en los terneros de parto de primavera, se calcularon las correlaciones entre GMD<sub>e</sub>, GMD<sub>v</sub>, y PL.

## **4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los efectos ambientales considerados en el modelo se pueden agrupar en dos tipos diferentes. El primero, el que afecta a la ordenada en el origen y relacionado con el peso del ternero el día 0 (peso al nacimiento). El segundo tipo, aquellos que afectan al coeficiente lineal del modelo y que afectan a los pesos desde el nacimiento al destete.

### **4.3.1 *Peso al nacimiento (PN)***

El peso al nacimiento se vio afectado significativamente por el efecto PARTO, los terneros hijos de vacas de primer y segundo parto fueron  $3.13 \pm 1.15$  kg más ligeros

al nacimiento que los nacidos de vacas adultas ( $P < .01$ , Tabla 4.2). Esta diferencia puede ser debida a la competición por los nutrientes entre el crecimiento fetal y maternal de las vacas jóvenes (Holland y Odde, 1992). El efecto SEXO también fue significativo, influyendo en la ordenada en el origen del modelo. Los terneros machos fueron un 6.4% más pesados al nacimiento que las hembras.

La diferencia en PN entre razas fue  $1.5 \pm 1.19$  kg, siendo los terneros PA más pesados, aunque no significativamente (Tabla 4.3). En un conjunto de datos mayor, Casasús (1998) encontró una diferencia significativa de 2.5 kg ( $p < 0.001$ ) entre el PN de las dos razas. El valor medio obtenido por las dos razas fue similar a los resultados descritos por otros autores: 44 kg para terneros PA (Piedrafita et al., 1993) y 42.4 kg para PI (Altarriba et al., 1996).

El PN fue significativamente mayor en los terneros de parto de otoño que en los de primavera. La condición corporal al parto era superior en las vacas de parto de otoño que en las de parto de primavera ( $+0.2$  puntos de CCP), lo que refleja los mayores niveles de alimentación previa al parto proporcionada por los pastos de verano, en contraste con los niveles restrictivos de nutrición ofrecida a las vacas de parto de primavera durante el invierno (Casasús, 1998). La subnutrición previa al parto puede ocasionar una disminución del crecimiento fetal y así reducir el PN (Spitzer et al., 1995), aunque algunos autores consideran que sólo una subnutrición aguda puede afectar al PN (Agrabiél y Petit, 1987).

### **4.3.2 Pesos nacimiento-destete**

Los pesos estimados a diferentes edades para cada nivel de SEXO, PARTO, NAP, RAZA y EPOCA se presentan en la Tabla 4.2 y Tabla 4.3.

La diferencia de peso entre machos y hembra, ya observadas al nacimiento, se incrementó hasta  $7.5 \pm 2.04$  kg ( $P < 0.01$ ) a los 120 d de edad y  $8.65 \pm 3.15$  kg ( $P < 0.01$ ) a los 150 días. La magnitud de la diferencia entre sexos fue inferior a la observada por otros autores trabajando con las mismas razas. En terneros PI, los machos fueron 13 kg más pesados que las hembras a los 120 d de edad (Altarriba et al., 1996) y 38 kg a los 205 d de edad (Varona et al., 1997). Piedrafita et al. (1993) observó que los ternero PA machos fueron 21.7 kg más pesados que las hembras a los 185 d de edad.

**Tabla 4.2 Medias mínimo cuadráticas (error estándar) para el peso (kg) a 0, 120, 150 y 180 d de edad por sexo (SEXO), número de parto de la madre (PARTO) y nivel de alimentación postparto de la madre (NAP)**

Efecto	Edad ternero, d			
	0	120	150	180
<i>SEXO</i> <sup>a</sup>				
Hembra	40.51 <sup>y</sup> ± .66	140.25 <sup>y</sup> ± 1.74	164.77 <sup>y</sup> ± 2.12	189.12 <sup>y</sup> ± 2.51
Macho	43.29 <sup>z</sup> ± .57	147.73 <sup>z</sup> ± 1.49	173.42 <sup>z</sup> ± 1.80	198.95 <sup>z</sup> ± 2.14
<i>PARTO</i> <sup>a</sup>				
1 <sup>er</sup> y 2 <sup>o</sup> parto	40.33 <sup>y</sup> ± .91	135.77 <sup>y</sup> ± 2.39	159.21 <sup>y</sup> ± 2.90	182.48 <sup>y</sup> ± 3.43
≥ 3 <sup>er</sup> parto	43.46 <sup>z</sup> ± .56	152.22 <sup>z</sup> ± 1.47	178.99 <sup>z</sup> ± 1.78	205.59 <sup>z</sup> ± 2.12
<i>NAP</i> <sup>a</sup>				
Bajo	41.90 ± .49	133.89 <sup>y</sup> ± 2.26	156.47 <sup>y</sup> ± 2.80	178.88 <sup>y</sup> ± 3.35
Alto	41.90 ± .49	154.09 <sup>z</sup> ± 2.38	181.72 <sup>z</sup> ± 2.95	209.18 <sup>z</sup> ± 3.53

<sup>a</sup> Dentro de una columna, las medias con diferente superíndice difieren entre sí ( $P < .05$ )

Los terneros criados por vacas de primer y segundo parto tuvieron ganancias de peso menores que los criados por vacas con más partos. Esta diferencia en la ganancia de peso se tradujo en una diferencia de  $19.8 \pm 3.73$  kg en el peso a los 150 d de lactación ( $P < 0.01$ ). Piedrafita et al. (1993) encontraron una diferencia de 34.3 kg en el peso a los 185 días de edad en terneros PA nacidos de vacas jóvenes frente a adultas.

El nivel de alimentación postparto de las madres llevó a una diferencia de  $25.25 \pm 4.85$  kg en el peso a los 150 d de edad, siendo más pesados los terneros hijos de vacas que recibieron un alto NAP. El nivel de nutrición de las vacas es el factor más importante que influencia la tasa de crecimiento del ternero, sobretodo si, como en este caso, los terneros no reciben ningún tipo de suplementación durante la lactación (Lowman et al., 1979; Sinclair et al., 1994; Casasús et al., 1997).

Aunque el PN de las dos razas no fue significativamente diferente, la diferencia en los pesos aumentó hasta  $20.6 \pm 3.86$  kg a los 150 días de edad ( $P < 0.001$ , Figura

4.1) siendo los terneros PA los más pesados. Los mayores pesos de terneros PA pueden ser atribuidos a la mayor producción lechera de sus madres (Casasús, 1998). El consumo de leche es el carácter principal que afecta a los crecimientos predestete de en vacuno de carne (Baker et al., 1976; Butson et al., 1980) y puede también explicar los efectos sobre el peso del ternero al PARTO (Lubritz et al., 1989) y del NAP. El efecto de la producción de leche de las madres en los caracteres de crecimiento del ternero se tiene en cuenta en los esquemas de mejora, incluyendo los efectos maternos y permanentes de la madre (Hohenboken, 1985) y el NAP se pueden incluir entre los últimos.

**Tabla 4.3 Medias mínimo cuadráticas de los pesos del ternero en cada raza y época de parto**

	Edad ternero, d				
	0	60	120	150	180
<b>Parda Alpina, otoño</b>					
Peso, kg	44.7	100.1	150.1	172.9	194.5
e.e.	.71	1.09	1.72	2.01	2.28
e.e. amplio	7.07	10.64	17.09	20.61	24.21
<b>Parda Alpina, primavera</b>					
Peso, kg	40.9	91.5	146.3	175.2	205.2
e.e.	.96	1.50	2.16	2.45	2.68
e.e. amplio	8.25	12.69	18.89	22.20	25.58
<b>Pirenaica, primavera</b>					
Peso, kg	39.4	86.0	131.9	158.4	177.2
e.e.	.73	1.29	2.36	3.17	3.87
e.e. amplio	6.51	11.08	18.82	22.95	27.18
primavera vs. otoño	$-3.8^z \pm 1.13$	$-8.5^z \pm 1.75$	$-3.7 \pm 2.57$	$2.3 \pm 2.92$	$10.8^z \pm 3.19$
Parda Alpina vs. Pirenaica	$1.5 \pm 1.19$	$5.6^z \pm 1.96$	$14.4^z \pm 3.17$	$20.6^z \pm 3.86$	$28.0^z \pm 4.65$

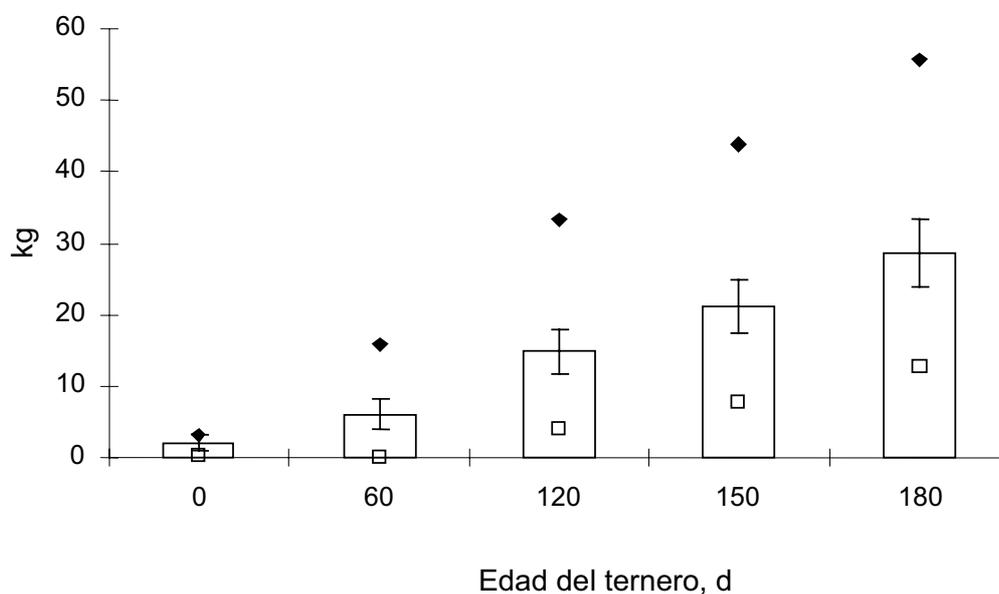
e.e. error estándar ; e.e. amplio : ver definición en el texto

<sup>z</sup> Medias significativamente diferentes de cero ( $P < .05$ )

Las estimaciones de peso a los 180 días de edad (Tabla 4.3) fueron ligeramente inferiores a los presentados por Piedrafita et al. (1993) para la raza PA y por Altarriba et al. (1996) en raza PI. Estas diferencias pueden ser debidas a que los terneros de el presente estudio no recibieron ningún tipo de suplementación durante la lactación. Esta falta de suplementación, en nuestras condiciones, puede haber sido la causa de los menores pesos al destete y también de la menor diferencia entre machos y hembras comparada con la obtenida por esos autores.

La Figura 4.1 muestra la diferencia media estimada entre razas en un rango de edades, y los valores máximos y mínimos observados en los diferentes años de estudio. Aunque la magnitud de la diferencia entre razas fue variable entre años, los terneros de raza PA fueron siempre más pesados que los terneros de raza PI.

**Figura 4.1 Media (error estándar), y diferencias interanuales máximas (◆) y mínimas (□) entre el peso de los terneros de raza Parda Alpina y los de raza Pirenaica nacidos en otoño.**



Los rendimientos predestete fueron claramente superiores en los terneros de raza Parda Alpina que en los de raza Pirenaica. De todas formas, otros caracteres como el crecimiento postdestete y la calidad de la canal y de la carne después del engorde deben ser considerados cuando se compara la eficiencia de producción de las dos razas (Alberti et al., 1998).

La diferencia en peso observada al nacimiento entre las dos épocas de parto aumentó hasta  $8.5 \pm 1.75$  kg a los 60 días de edad ( $P < 0.01$ , Tabla 4.3), siendo los terneros de parto de otoño los más pesados.

A partir de los 60 días de edad, las pautas de crecimiento observadas condujeron a diferencias no significativas a los 120 y 150 días de edad (Figura 4.2). La tendencia inversa se observó a los 180 d de edad, cuando los terneros nacidos en primavera fueron  $10.8 \pm 3.19$  kg más pesados ( $P < 0.001$ ). De todas formas, esta última comparación debe ser analizada con cautela, debido a que los 180 días de edad están fuera del rango real de edades de los terneros nacidos en otoño.

Los mayores pesos de los terneros nacidos en otoño, observados en el presente estudio sólo hasta los 130 días de edad, han sido también descritos por otros autores en sistemas de producción similares. Los terneros de raza Asturiana de los valles nacidos en otoño fueron más pesados al destete que los de primavera (Goyache, 1995). Piedrafita et al. (1993) encontró que los terneros PA de otoño tenían mayores tasas de crecimiento que los de primavera, y Osoro (1987) describió que las ganancias de terneros de raza Rubia Gallega nacidos en otoño fueron 174 g/d superiores a los de parto de primavera.

El efecto de la época de parto está relacionado con las prácticas de manejo y con la disponibilidad de recursos alimenticios para los animales a lo largo del año. En las zonas de montaña es común subnutrir a las vacas durante el periodo de estabulación invernal con el objeto de reducir los costes de producción. Esta restricción se aplica durante el último tercio de gestación de las vacas con parto en primavera, y puede causar un bajo nivel de reservas corporales al parto. La baja CCP puede afectar a los rendimientos reproductivos (Wright et al., 1987) y también a la producción de leche, y por tanto a las ganancias del ternero.

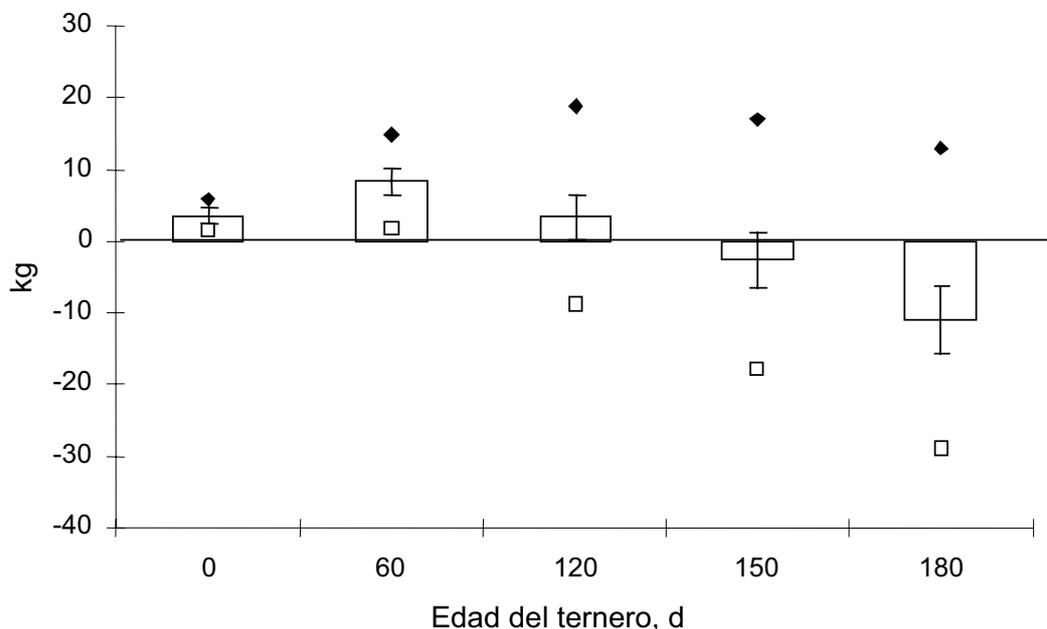
En contraste, las vacas con parto en otoño pueden acumular suficientes reservas durante el pastoreo de verano. Estas mayores reservas corporales permiten cierto grado de subnutrición durante la lactación, ya que la movilización de reservas puede proporcionar suficiente energía para la producción de leche, sin afectar a los crecimientos del ternero.

En nuestras condiciones, el parto de primavera es ventajoso en términos de peso del ternero a partir de los 140 días de edad, probablemente debido al cambio de manejo

alimenticio de las madres y terneros a la salida al pasto (ver más adelante). La extrapolación del peso del ternero más allá de 160 a 170 días de edad puede no tener sentido. Estas edades están fuera del rango de los datos tomados durante el periodo de estabulación, y por ello utilizados para calcular las curvas de crecimiento. Además, las pautas de crecimiento en pasto no tienen porque seguir las observadas en el establo.

La Figura 4.2 muestra que las diferencias entre las épocas de parto varían ampliamente dependiendo del año; así la época de parto con mejores rendimientos no es la misma de año en año. Esta variación puede explicarse por la relación del efecto estación con la producción herbácea y por tanto con efectos climáticos del año.

**Figura 4.2 Media (error estándar), y diferencias interanuales máximas (◆) y mínimas (◻) entre el peso de los terneros de raza Parda Alpina nacidos en otoño y los nacidos en primavera.**



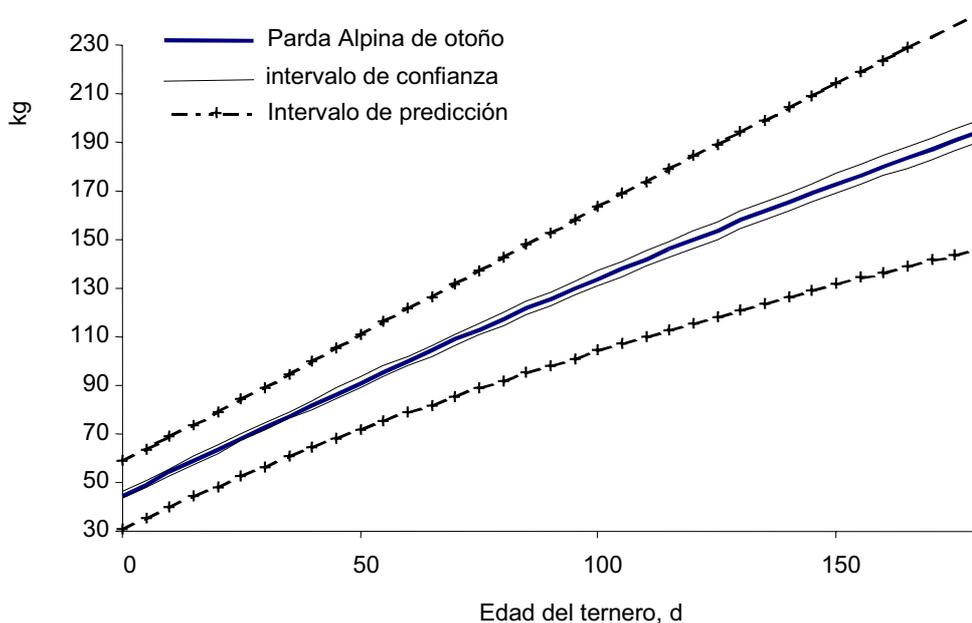
Un destete temprano proporcionaría mejores rendimientos en los terneros nacidos en otoño, mientras que por encima de 150 días de edad se tendrían pesos mayores de los terneros nacidos en primavera. Aun así, la posible elección de una época de

partos o de otra, e incluso de las dos, debe ser analizada desde un punto de vista amplio, teniendo en cuenta otros objetivos como la conservación y utilización de los recursos naturales disponibles, las disponibilidades de mano de obra, los precios estacionales, etc...

### 4.3.3 Linealidad del crecimiento

El coeficiente cuadrático, estimado dentro de cada raza y época de parto, tuvo un signo diferente para cada época de parto. El valor obtenido para otoño,  $-7.5 \times 10^{-4}$  kg/d<sup>2</sup>, con menores ganancias medias diarias al aumentar la edad del ternero (Figura 4.3) , puede ser explicada por la reducción de la producción lechera de la madre, la única fuente de nutrientes de los terneros no suplementados.

**Figura 4.3 Curva de crecimiento de terneros de raza Parda Alpina nacidos en otoño, intervalos de confianza y predicción de las estimas.**



El valor obtenido para la primavera,  $5.7 \times 10^{-4}$  kg/d<sup>2</sup>, implica mayores tasas de crecimiento al aumentar la edad del ternero. Este hecho puede ser explicado por el manejo de las vacas de parto de primavera, que recibieron una dieta de calidad superior entre el segundo y tercer mes de lactación. Este nivel superior de alimentación vino dado por el pastoreo durante parte del día de praderas de fondo de

valle, disponibles desde el final de la primavera. Esta mejora en el nivel de alimentación se traduce en un incremento la producción de leche de las vacas ( Coulon et al., 1986; Villalba et al., 1997; Casasús, 1998) y de forma directa las ganancias de los terneros.

**Tabla 4.4 Sesgos de las estimas de peso al destete ajustado a 150 d de edad en terneros de raza Parda Alpina nacidos en primavera y otoño.**

	Edad al destete (d)			
	Primavera		Otoño	
	125	175	125	175
$P_0$ (kg) <sup>a</sup>	40.9		44.7	
$P_d$ (kg) <sup>b</sup>	151.0	200.1	153.9	190.4
LP150 (kg) <sup>c</sup>	173.1	177.4	175.7	170.0
$P_{150}$ (kg) <sup>e</sup>	175.2		172.9	
sesgo (%) <sup>f</sup>	-1.2	1.2	1.6	-1.6

<sup>a,b,e</sup>. Peso a los 0 d, y 150 d respectivamente obtenidos de la curva cuadrática estimada

<sup>c</sup> Peso a los 150 d ajustado linealmente:  $LP150 = [(P_d - P_0) / d] * 150 + P_0$

<sup>f</sup>  $sesgo = (LP150 - P_{150}) / P_{150} * 100$

Teniendo en cuenta estos resultados, el uso de una aproximación lineal para la corrección del peso del ternero puede llevar a cierto sesgo en las estimas. Si la curva cuadrática se asume como correcta en términos de edad y peso, y se usa una aproximación lineal para estimar el peso a los 150 días de edad utilizando datos de terneros de 125 o 175 días de edad, el sesgo de la estima es  $\pm 1.2\%$  en los terneros nacidos en primavera y  $\pm 1.6\%$  en los de otoño (Tabla 4.4). Aunque la magnitud de los sesgos es pequeña ( el e.e. de la curva estimada está entre el 1.1 y el 1.5% del peso a los 150 días), el diferente signo del coeficiente cuadrático en las dos épocas de parto lleva a que el sesgo sea de diferente signo.

A los 150 días de edad, la diferencia entre épocas según la curva estimada es de  $2.3 \pm 2.92$  kg, siendo los terneros de primavera más pesados. Utilizando los datos de terneros jóvenes (125 días de edad), la diferencia de pesos estandarizados linealmente a 150 días es de 2.6, siendo más pesados los terneros de otoño, pero usando el dato de terneros de más edad ( 175 días de edad), la diferencia de pesos corregidos linealmente a 150 días es de 7.4 kg a favor de los terneros de primavera.

El modelo cuadrático se ajusta bien a los pesos predestete en el rango de edades del ternero estudiadas ( $R^2=0.99$ ). La forma de la curva, y con ello el signo del término cuadrático, depende de la interacción entre el potencial de crecimiento del ternero y el manejo nutricional de la madre. Debido a esta interacción, puede ser útil estimar el valor del coeficiente cuadrático dentro de grupos homogéneos de animales, como sugieren Woodward et al. (1989). Aun así, la definición de esos grupos homogéneos es difícil, situación que puede explicar la inconsistencia observada en algunos estudios (Rossi et al., 1992).

### **4.3.4 Relación entre los crecimientos en establo y en pasto**

Los rendimientos durante el pastoreo de puerto de los terneros nacidos en primavera son mayores que durante la estabulación, pese a que los animales tienen mayor edad durante el verano (Tabla 4.5). Las mayores ganancias de los terneros en el pasto pueden deberse a la mayor disponibilidad de nutrientes para sus madres, particularmente al principio de la estación de pastoreo y si han sido subnutridas durante la estabulación. Por otro lado, la correlación entre producción diaria de leche y GMD del ternero durante la estabulación fue 0.71 (118 datos,  $P < 0.01$ ), mientras que entre la PL y la GMD de verano fue sólo de 0.39 (118 datos,  $P < 0.01$ ), reflejando una menor dependencia del ternero de la producción lechera de la madre en ese periodo. El aumento de ingestión de hierba de los terneros puede compensar la menor producción lechera de sus madres en fases finales de la lactación (Vicini et al., 1982). A los 45 días de edad, los terneros pueden obtener del pasto hasta 2.4 veces la energía recibida de la leche de sus madres (Ansotegui et al., 1991).

La baja correlación entre GMD en establo y en pasto ( $r=0.18$ ,  $P < 0.05$ ,  $n=389$ ) mostrarían que las ganancias en pasto dependen, principalmente, del potencial de crecimiento del ternero, mientras que las ganancias durante la estabulación se relacionan con el potencial lechero de la madre.

**Tabla 4.5 Estadísticos de la ganancia media diaria (GMD) en establo y en pasto, y producción de leche de la madre observadas en el grupo de terneros de raza Parda Alpina nacidos en primavera**

Carácter	número	media	desviación típica
GMD establo (0-110 d), kg	389	0.80	0.21
GMD pasto (110-170 d), kg	389	0.93	0.22
Producción leche madre, kg/d	118	7.48	1.93

#### **4.3.5 Variabilidad individual**

Las varianzas de los coeficientes aleatorios de los modelos, que reflejan la variabilidad individual en el peso al nacimiento (ordenada en el origen) y tasas de crecimiento (coeficiente lineal), se muestran en la Tabla 4.6. Ambas varianzas son significativamente diferentes de cero y por ello deberían ser introducidas en modelos de simulación con una componente estocástica.

Los residuos del modelo con y sin los coeficientes aleatorios se presentan en la Figura 4.4. Los residuos aumentaron al aumentar la edad en el que no incluyó los coeficientes aleatorios, mientras que su inclusión condujo a un modelo con residuos uniformemente distribuidos. La varianza residual también disminuyó de 130.03 kg<sup>2</sup> a 9.61 kg<sup>2</sup> al utilizar el modelo con coeficientes de regresión aleatorios. El modelo estadístico podría haber incluido un coeficiente cuadrático aleatorio, pero no fue incluido debido a que el algoritmo de cálculo no convergió. Pese a ello, los residuos del modelo con sólo dos coeficientes aleatorios fueron pequeños, incluso a edades avanzadas, lo que ratifica la no inclusión del coeficiente cuadrático aleatorio.

La varianza del coeficiente lineal fue  $0.014 \pm 0.003$  kg<sup>2</sup> para la raza PA y  $0.020 \pm 0.0031$  kg<sup>2</sup> para la raza PI, en ambos casos para la paridera de primavera. Estos

valores son similares a los obtenidos por Varona et al. (1997) en terneros de raza PI. Teniendo en cuenta estos valores, la varianza individual (obtenida a partir del e.e. amplio) a los 150 días fue 424.7 kg<sup>2</sup> y 526.7 kg<sup>2</sup> para las razas PA y Pi respectivamente, casi un 65 % de la varianza de los pesos al destete no ajustados por edad.

En el caso de los terneros de raza PA, la covarianza entre la ordenada en el origen y del coeficiente lineal fue no significativa en otoño, mientras que fue positiva en primavera (la correlación fue 0.38 y significativa). En los terneros de raza PI, la covarianza tampoco fue significativa. El uso de un modelo con correlación cero para los terneros PA de otoño y PI de primavera no difirió del modelo original (LRT=0.3, P=0.86). Se deduce que las relaciones entre los parámetros que definen la curva de crecimiento pueden variar entre razas y épocas de parto.

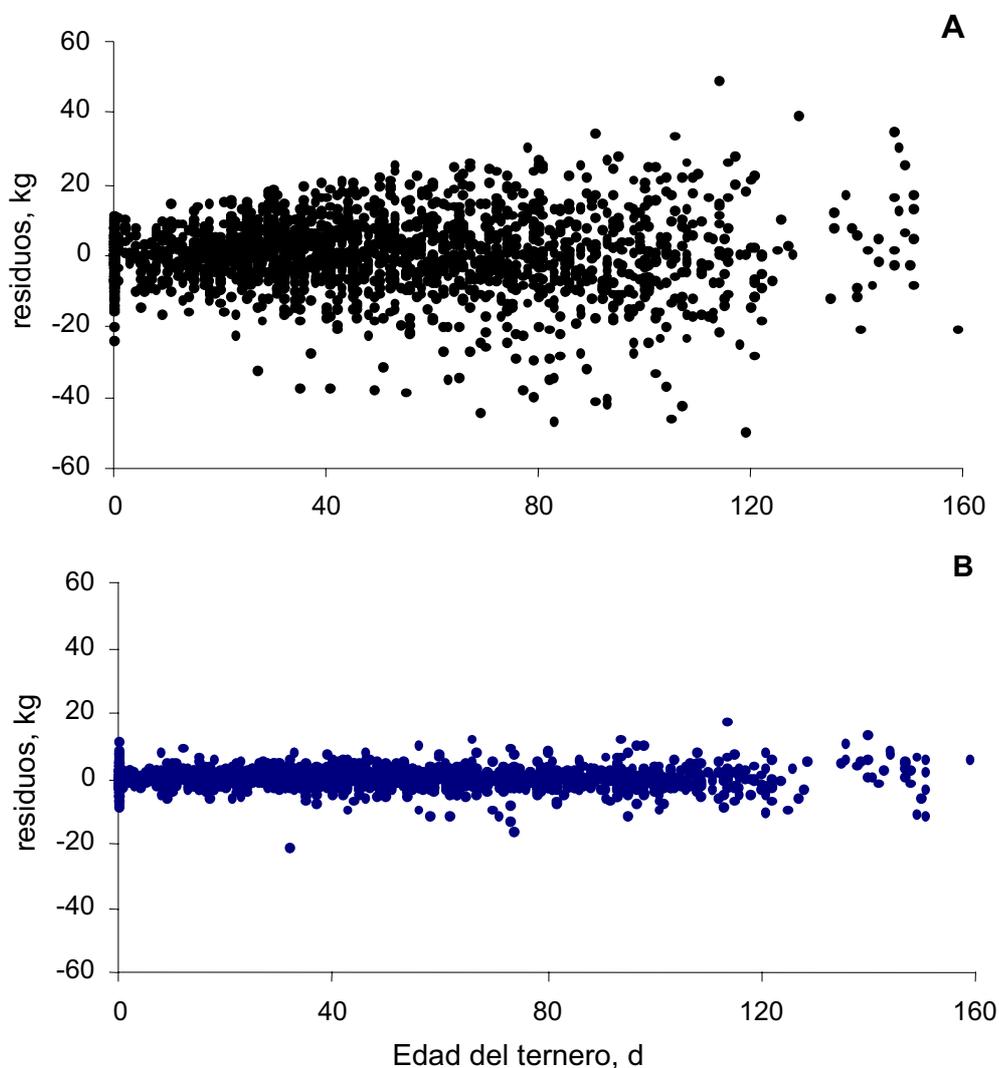
**Tabla 4.6 Varianza y covarianza de los coeficientes aleatorios estimados en el modelo para cada una de las razas y épocas de parto.**

Co-varianza	Raza	Época de parto		
		Otoño	Primavera	
		Parda Alpina	Parda Alpina	Pirenaica
Ordenada en el origen		39.96 ± 5.5	57.62 ± 9.12	32.19 ± 5.19
Ordenada en el origen - coeficiente lineal		0.043 ± 0.077	0.34 ± 0.106	0.046 ± 0.091
Coefficiente lineal		0.0159 ± 0.0021	0.0141 ± 0.0023	0.0205 ± 0.0031
residual			9.61 ± 0.219	

Las estimas de variabilidad individual son útiles para simular el potencial de crecimiento en modelos estocásticos. En las simulaciones deterministas, cada ternero que tiene los mismos efectos ambientales (época de nacimiento, raza, sexo,..) tendrá la misma curva de crecimiento media. La simulación estocástica

añadirá el efecto animal a la curva media. Cada ternero tendrá un valor diferente de desviación de los dos parámetros (ordenada en el origen y coeficiente lineal), que se obtendrá de la distribución con los parámetros de (co)varianza estimados. Es necesario estimar estos parámetros de (co)varianza dentro de grupos con el objeto de tener en cuenta las diferencias en la variabilidad de los animales en función del genotipo y ambiente, como la raza y la época de parto en este estudio.

**Figura 4.4 Residuos del modelo sin utilizar coeficientes aleatorios (A) y utilizando coeficientes aleatorios (B).**



Si se dispone de la genealogía, una mejor disección de la variabilidad individual debería descomponer el efecto animal en sus componentes genética y ambiental (Jamrozik y Schaeffer, 1997; Varona et al., 1997). De todas formas, considerar sólo el efecto animal puede ser suficiente para los propósitos de la mayoría de simulaciones de sistemas productivos.

### **4.4 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO**

i) Las pautas de crecimiento predestete se ajustan bien a un modelo cuadrático, por lo que su estandarización mediante una aproximación lineal puede sesgar las estimaciones del peso al destete de los terneros.

ii) Las estimas de los efectos ambientales sobre las curvas de crecimiento y de la variación individual de los parámetros que describen las pautas de crecimiento predestete, pueden ser utilizadas para modelizar los rendimientos predestete en simulaciones de alternativas de manejo en los sistemas de producción de vacas nodrizas del Pirineo.

iii) Existe una gran variabilidad individual en los pesos predestete de los terneros que debería ser tomada en cuenta para la modelización estocástica. Con dos coeficientes de regresión aleatorios (ordenada en el origen y coeficiente lineal) se puede representar la variabilidad individual en el peso de los terneros. Para tener en cuenta dicha variabilidad se debería simular a los terneros permitiendo que entre ellos hubiese variación en el peso al nacimiento y en la ganancia media diaria.

## **5. DESCRIPCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MODELO ESTOCÁSTICO PARA LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE VACAS NODRIZAS**

---



## 5.1 INTRODUCCIÓN

Los modelos matemáticos permiten la integración de los conocimientos obtenidos sobre un sistema. Estos conocimientos pueden ser tanto datos técnicos y productivos como hipótesis sobre el funcionamiento de partes concretas del sistema.

En el capítulo 3 se ha postulado un modelo de repartición de la energía en vacas y se ha obtenido una estimación de las necesidades energéticas para mantenimiento en animales de raza Parda Alpina, así como de su posible variación entre individuos. En el capítulo 4 se han descrito las características del crecimiento predestete de terneros de raza Parda Alpina y Pirenaica.

Por otro lado, durante los últimos 12 años en la finca experimental del SIA-DGA “La Garcipollera” se han desarrollado múltiples experimentos relacionados con la reproducción del vacuno de carne (Blasco et al., 1992; Revilla et al., 1992; San Juan, 1993; Sanz et al., 1997) y el aprovechamiento de los recursos pastables (Revilla et al., 1991; Villalba et al., 1995; Casasús, 1998).

En este capítulo se pretende integrar en un modelo la información obtenida en los capítulos anteriores; los resultados de otros experimentos realizados en vacuno de carne; e hipótesis sobre el funcionamiento del sistema.

El objetivo principal del modelo es predecir la evolución del peso, de las reservas corporales, el crecimiento de los terneros y los resultados reproductivos, de un lote de vacas con la alimentación controlada. Así, en el presente capítulo se introducen los conceptos que ligan en un solo modelo, de tipo estocástico, los dos submodelos: el de reparto de la energía en la vaca; y el de crecimiento del ternero.

Una de las fases previas a la utilización de un modelo para la simulación de diferentes alternativas es la validación del mismo (Sørensen, 1990; Tess y Kolstad, 2000b), definida como el ajuste entre el modelo construido y el sistema que concierne. Una de las posibles validaciones es la operacional, contrastando con datos reales el comportamiento del modelo informatizado en relación al comportamiento del sistema real. El modelo descrito se validará operacionalmente a partir de datos reales.

## 5.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Se trata de un modelo dinámico y estocástico, puesto que parte de los parámetros que definen al animal no se consideran fijos para todos los animales sino que son variables entre animales siguiendo una distribución determinada. En cada simulación se genera un lote de animales, del que se conoce el manejo nutricional y reproductivo, y se sigue la evolución de cada vaca durante un periodo de tiempo determinado (Figura 5.1).

### 5.2.1 Entradas del modelo

Las entradas del modelo son el manejo nutricional y reproductivo del lote y las características individuales de las vacas del lote que se quiere simular.

#### 5.2.1.1 Definición del manejo nutricional y reproductivo del lote

Durante el periodo de simulación se considera la alimentación del lote y se asume que todos los animales consumen la misma cantidad (kg de MS) de alimento. El número de alimentos, su valor energético en MJ EM/kg MS, y las características del alimento (concentrado, forraje seco o forraje verde) y la oferta de MS diaria son variables de entrada en el modelo.

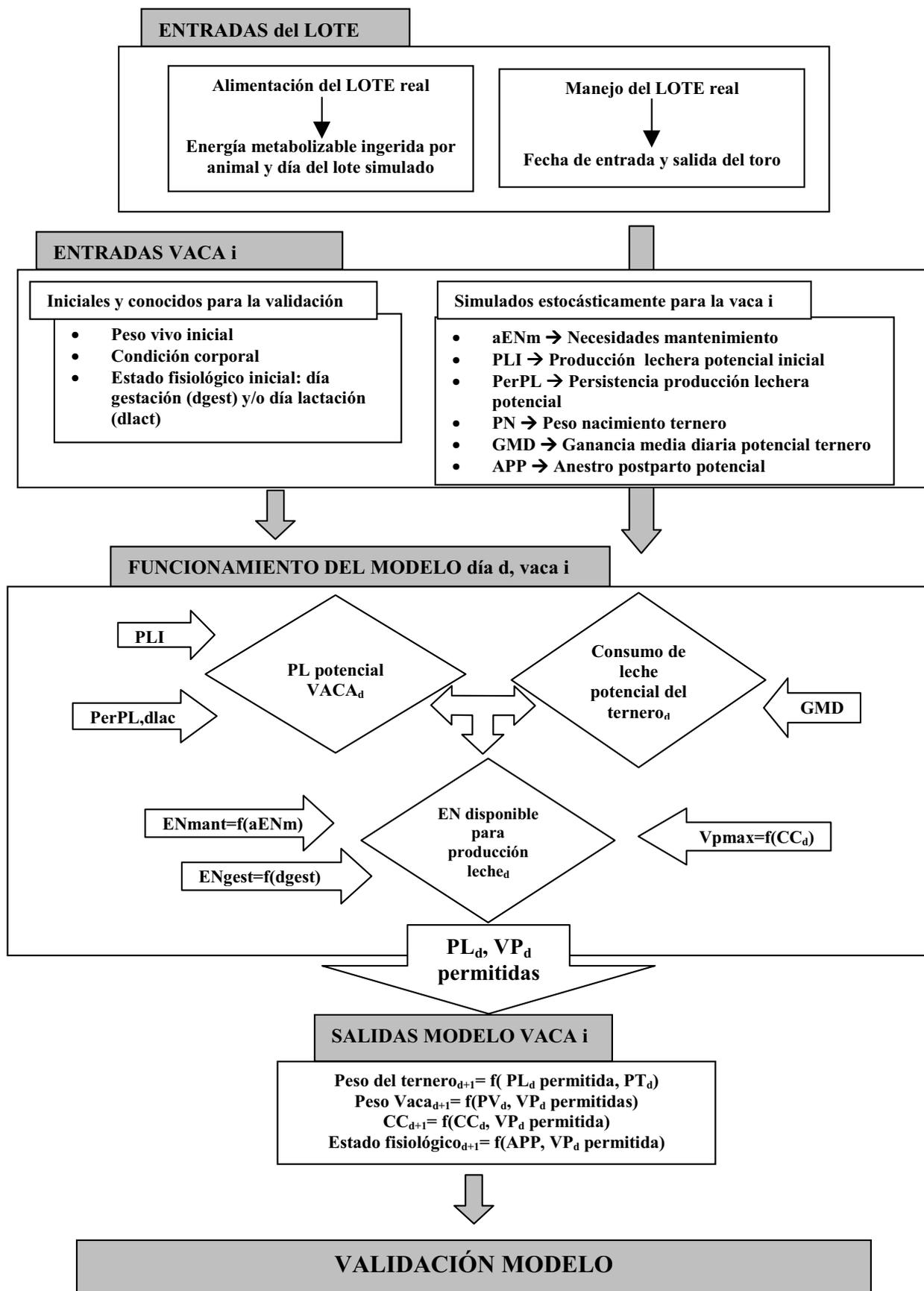
Las fechas clave que definen el manejo reproductivo del lote son el día de destete, el día de entrada del toro y el día de salida del toro. La fecha de inicio y fin del control definen la duración del periodo de simulación del lote.

#### 5.2.1.2 Características individuales de las vacas

El peso vivo y condición corporal inicial de cada una de las vacas simuladas son entradas del modelo. El estado fisiológico definirá el día de gestación y/o lactación de cada vaca.

El resto de parámetros del modelo se dividen en dos grupos, los comunes para todas las vacas y que se definen en el apartado de 5.2.2, y los simulados estocásticamente y particulares para cada vaca, cuya obtención se describe en el siguiente apartado.

Figura 5.1 Esquema de funcionamiento del modelo y su validación



## 5.2.1.3 Descripción de las variables estocásticas

Los seis parámetros definidos como estocásticos y su valor medio se presentan en la Tabla 5.1. Se asume que se distribuyen siguiendo una multinormal  $N(m,V)$  siendo  $m$  el vector que contiene el valor medio de cada parámetro en la población simulada y  $V$  la matriz de co-varianzas de los parámetros.

Tabla 5.1 Parámetros estocásticos del modelo

Abreviatura	Parámetro	Valor	Referencia
aENm	<i>Energía neta de mantenimiento</i> ( MJ /kg PV <sup>0.67</sup> )	$\mu=0.54, \sigma=0.122$	Capítulo 3
PLI	<i>Producción de leche inicial</i> (kg)	$\mu=9.32, \sigma=1.26$	Capítulo 5
Per_PL	<i>Persistencia producción leche (kg/d)</i>	$\mu=-0.005, \sigma=0.012$	Capítulo 5
PN	<i>Peso nacimiento del ternero (kg)</i>	$\mu=45, \sigma=6.3$	Capítulo 4
GMD_T	<i>Ganancia media diaria potencial del ternero</i> (kg/d)	$\mu=0.95, \sigma=0.126$	Capítulo 4
APP	<i>Anoestro postparto vaca</i> (d)	$\mu=40, \sigma=49$	Revilla et al. ( 1999)

Para obtener el valor de los parámetros de cada animal se añade a la media de cada parámetro una desviación aleatoria. Dicha desviación se extrae de una multinormal  $N(0,V)$ , utilizando la descomposición de Choleski de la matriz  $V$  (Tong, 1990), para lo que la matriz  $V$  debe ser definida positiva. De esta forma, la desviación de un parámetro para un animal no es independiente del resto de los parámetros, sino que depende de la estructura de covarianzas definida en la matriz  $V$ .

La variación individual en la energía metabolizable para mantenimiento, así como una posible variación en el valor y utilización de las reservas corporales, se introduce a través del parámetro aENm (ver Capítulo 3) que afecta directamente a las

necesidades energéticas para mantenimiento. El valor medio estimado de éste parámetro es de 0.54 MJ EN/kg PVV<sup>0.67</sup> ( $\sigma^2=0.015$ ).

Considerando una evolución lineal (ver más adelante) de la producción lechera (PL), existen dos parámetros con una posible componente estocástica, la PL inicial (PLI) y la persistencia de la PL (Per\_PL). Para estimar el valor medio y la variación de la PLI y de la Per\_PL se efectuó el análisis de 81 lactaciones procedentes de 42 vacas de raza Parda Alpina con partos de otoño en las que se estimó la producción lechera mediante la técnica de doble pesada del ternero (Le Neindre, 1973). Se disponía entre 4 y 12 observaciones entre el día 2 y el 162 de cada lactación (820 observaciones en total). La metodología estadística utilizada fue la introducida en el capítulo 4 para el análisis de medidas repetidas mediante el procedimiento MIXED (Littell et al., 1996). La ecuación obtenida fue:

$$PL_d = 9.32_{(\pm 0.23)} - 0.005_{(\pm 0.0025)} * d$$

siendo d el día de lactación. Así pues se asigna al parámetro PLI una media de 9.32 kg y a Per\_PL un valor de -0.005 kg/día. La varianza individual estimada para el pico de producción PLI fue de 1.6 kg<sup>2</sup>, la de Per\_PL 1.42x10<sup>-4</sup> (kg/día)<sup>2</sup> y la correlación entre los dos parámetros de -0.54.

Los valores de los dos parámetros que describen el potencial de crecimiento del ternero (ver Tabla 5.1) se derivan del análisis del crecimiento de los terneros realizados en el capítulo 4.

Las curvas de crecimiento estimadas para los terneros fueron de tipo cuadrático, aunque la no linealidad del crecimiento de los terneros era debido a la variación de la producción lechera de la madre. Con el objeto de representar el potencial de crecimiento de los terneros se considera un crecimiento lineal entre 0 y 200 días de vida. El valor medio utilizado en el modelo para el potencial de crecimiento (GMD\_T) es el valor máximo obtenido para la ganancia media diaria de los terneros de raza Parda Alpina en las dos épocas de parto. La correlación entre el peso al nacimiento y GMD\_T utilizada en el modelo es la estimada (Tabla 4.6) en el caso de las vacas de raza Parda Alpina con parto de otoño (0.35), que se acerca a la correlación genética obtenida por otros autores (Renand et al. 1992; Mohiuddin, 1993).

A partir del análisis de 255 anestros procedentes de vacas multíparas de raza Parda

Alpina (Revilla et al., 1999), se asignó una duración media del anestro postparto (APP) de 40 días. La variabilidad utilizada para este parámetro en otros modelos de tipo estocástico va de una desviación típica de 3 días (Pleasants, 1997) a 18 días (Azzam et al., 1990). La utilizada en el modelo es la obtenida por Sanz (2000), en vacas de raza Parda Alpina, que se puede situar entre los dos valores ( $\sigma = 7$  días).

Las correlaciones entre el resto de parámetros estocásticos se han derivado de las obtenidas por otros autores, en algunos casos contradictorias y en muchos casos estimadas en animales de tipo lechero, con lo que deben ser tomadas con cierta precaución.

Es difícil asignar una correlación entre PLI y aENm. Algunos autores obtienen una correlación positiva entre la producción de leche y las necesidades de mantenimiento de la vaca (Ferrell y Jenkins, 1984; Persaud et al. 1991), pero por otro lado, las vacas más productoras de leche también tienen una mayor eficiencia (Freking y Marshall, 1992; Miller et al., 1999). Finalmente, como compromiso entre las dos posiciones, se asigna una correlación positiva pero baja ( $r_{PLI,aENm} = +0.2$ ).

La producción de leche de la madre no está relacionada genéticamente con el peso al nacimiento del ternero, pero sí con la ganancia de peso predestete (tanto por un efecto materno como directo) (Mohiuddin, 1993; Quintanilla, 1998), por ello la correlación entre PLI y GMD\_T utilizada en el modelo es de 0.4 (Ménissier y Firsch, 1992).

No ha sido posible encontrar referencias bibliográficas sobre las correlaciones entre las necesidades de mantenimiento de la madre y el peso del ternero al nacimiento y la ganancia media diaria predestete. Un aumento del peso adulto de la vaca está relacionado con un mayor peso al nacimiento y ganancia predestete del ternero (Renand et al., 1992), pero también con la energía metabolizable de mantenimiento de la vaca (Veerkamp y Emmans, 1995), por ello se asigna una correlación positiva del parámetro aENm con PN ( $r_{aENm,PN} = 0.5$ ) y con GMD\_T ( $r_{aENm,GMD\_T} = 0.35$ ).

### **5.2.2 Funcionamiento del modelo**

Los parámetros iniciales que definen la *i*-ésima pareja vaca-ternero son aENm<sub>*i*</sub>, PLI<sub>*i*</sub>, Per\_PL<sub>*i*</sub>, PN<sub>*i*</sub>, GMD\_T<sub>*i*</sub>, APP<sub>*i*</sub>, peso vivo inicial PVO<sub>*i*</sub> y condición corporal inicial CCo<sub>*i*</sub>. A partir de los datos de manejo y de la fecha de parto se determina el estado fisiológico

de cada animal, el día de lactación ( $d_{lac}$ ) y el de gestación ( $d_{gest}$ ). Si la vaca esta gestando se considera el peso al nacimiento del ternero en gestación ( $PNg_i$ ) como variable de entrada.

El estado fisiológico de cada vaca, junto con los parámetros que la definen, los datos sobre el manejo y la alimentación del lote se utilizan como las variables de entrada en el modelo descrito en el capítulo 3. Básicamente se corrige la EM ingerida por el nivel de alimentación para obtener la EM disponible, y se predicen las eficiencias de utilización de la EM disponible para mantenimiento, gestación, producción de leche, depósito y utilización de reservas corporales.

Para simular un lote de animales de los que se desconoce la producción lechera, se añade al modelo del capítulo 3 una rutina de predicción diaria de la PL potencial a partir de la que se deriva la variación de las reservas y la PL permitida por la dieta.

El modelo simula, a partir de las condiciones iniciales, un lote de animales día a día. Se simula cada animal individualmente y a partir del manejo y la alimentación definidas se obtiene la variación de los compartimentos grasa total, peso vivo vacío y peso del ternero. Las salidas del modelo son el peso vivo, condición corporal, peso del ternero y estado fisiológico de cada vaca día a día.

#### *5.2.2.1 Predicción de la producción de leche y variación de peso.*

En primer lugar se efectúa la predicción de la PL potencial de la vaca ( $PL_{pot\_V}$ ). Muchos autores asumen, en vacas nodrizas alimentando a un ternero, curvas de producción de leche similares a las de vacas lecheras en ordeño (Wood, 1967), con una producción baja al inicio de la lactación, un pico de producción y una bajada gradual de la producción a partir del pico (Hohenboken et al., 1992; Jenkins y Ferrell, 1992).

Cuando se intenta estimar curvas de este tipo a partir de datos de vacas alimentando a su ternero (ya sea por el sistema de doble pesada del ternero o mediante ordeño directo), se producen sesgos importantes al principio y al final de la lactación (Hohenboken et al., 1992). Si utilizamos las curvas estimadas por Jenkins y Ferrell (1992) para cuatro razas de vacuno de carne, los terneros sólo tendrían a su disposición entre 2 y 7 kg de leche diarias entre el nacimiento y las 5 semanas. Estos valores son difícilmente comparables con los crecimientos lineales obtenidos por los

terneros de esas razas durante el primer mes de vida. Por ello, en el presente modelo se utiliza como ecuación de predicción de la producción de leche potencial una ecuación lineal, con una producción inicial y una persistencia que hace disminuir la producción gradualmente. Así pues:

$$PL_{pot\_V_{i,d}} = PL_i + Per\_PL_i * d \quad [5.1]$$

Siendo  $PL_i$  la producción lechera (kg) de la vaca  $i$  el día 0;  $Per\_PL_i$  la persistencia de la producción lechera de la vaca  $i$ ; y  $d$  el día de lactación.

Pero esta  $PL_{pot\_V}$  de la vaca se debe comparar con la leche que puede consumir el ternero en función de su crecimiento potencial ( $PL\_T$ ). Siendo

$$PL\_T_{i,d} = GMD\_T_{i,d} * IC_{ternero} \quad [5.2]$$

donde  $PL\_T_{i,d}$  es el consumo de leche (kg) que puede efectuar el ternero de la vaca  $i$  el día  $d$ ;  $GMD\_T_{i,d}$  es la ganancia media diaria potencial del ternero hijo de la vaca  $i$  el día  $d$ ; y  $IC_{ternero}$  el índice de conversión leche-peso vivo medio de los terneros. El  $IC_{ternero}$  utilizado (9.2 kg leche/kg ternero) es un compromiso entre el estimado por Somerville et al. (1983) de 9 kg leche/kg ternero y los 9.5 obtenido en terneros de raza Parda Alpina (Casasús et al., 1997).

Si el ternero puede consumir más leche de la producida potencialmente por la vaca ( $PL\_T_i > PL_{pot\_V_i}$ ), entonces la  $PL_{pot\_V_i}$  no varía, y el crecimiento del ternero está condicionado por la producción de leche de su madre. En caso contrario, la  $PL_{pot\_V_i}$  es igual al consumo máximo del ternero ( $PL\_T_i$ ).

En el capítulo 3 se describía la variación del valor de las reservas corporales en función de la condición corporal del animal. Además de esta variación, se introduce en el modelo una limitación de la variación de peso máxima diaria permitida ( $vp_{max}$ ) definida como una función cuadrática de la condición corporal. Si  $CC$  es la condición corporal del animal (escala de 0 a 5) y se asume una variación de peso máxima permitida un animal de condición corporal 5 ( $vp_5$ ) y de condición corporal 1 ( $vp_1$ ), la ecuación sería:

$$vp_{max} = ((vp_5 - (vp_1 - 5)) / 20) * CC^2 + (vp_1 - ((vp_5 - (vp_1 - 5)) / 20)) * CC \quad [5.3]$$

En el presente modelo se asumieron valores de 3 kg y 0.3 kg para  $vp_5$  y  $vp_1$  respectivamente.

Una vez determinada la producción de leche esperada ( $PL_{pot\_V_i}$ ) y la variación de peso máxima ( $vp_{max}$ ), se introducen ambos parámetros en la rutina que reparte la energía metabolizable disponible en los compartimentos de mantenimiento, gestación y lactación (Figura 5.2). Como resultado se obtiene la variación de peso diaria del animal y la producción de leche diaria permitida por la energía disponible ( $PL_{perm}$ ).

A partir de la  $PL_{perm}$  se predice la ganancia media diaria del ternero real, utilizando el índice de conversión de leche en peso vivo ( $IC_{ternero}$ ). El peso del ternero se acumula día a día a partir del peso al nacimiento ( $PN_i$ ).

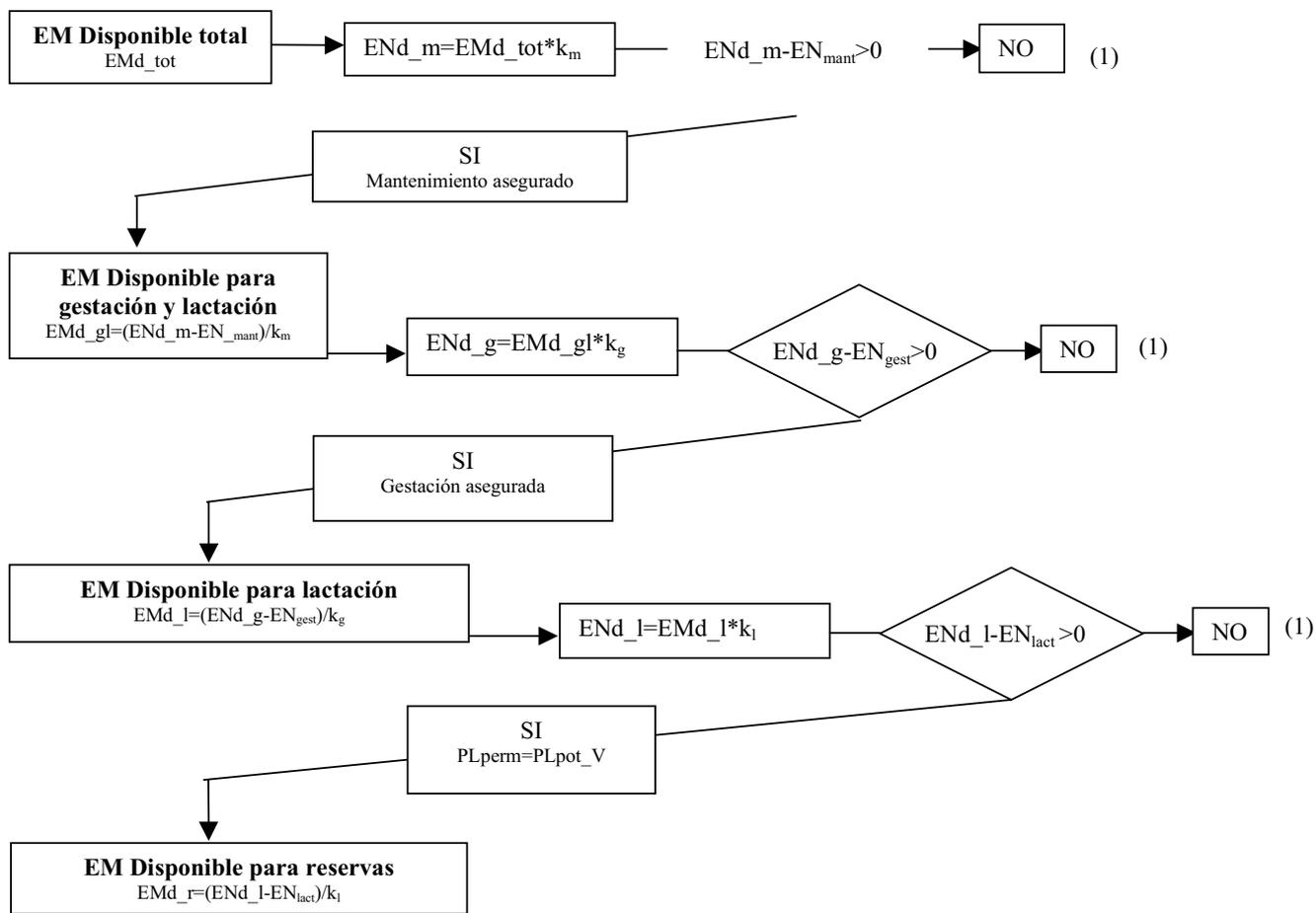
A partir de los resultados obtenidos en las rutinas precedentes se actualizan los compartimentos básicos del modelo (ver capítulo 3): la cantidad de grasa de la vaca (de la que se deduce la condición corporal), el peso vivo vacío (que junto con los productos de la gestación, el feto, y el contenido digestivo permiten obtener el peso vivo) y el peso del ternero.

#### *5.2.2.2 Gestión de la reproducción.*

Uno de los puntos clave del manejo reproductivo es la determinación de la duración del anestro postparto (APP) y de la tasa de fertilidad de cada animal para así determinar el momento de la concepción.

Se parte del  $APP_i$  de cada individuo y se asume que la duración del anestro estará definida por la alimentación preparto (Wiltbank et al., 1962) (por lo tanto por la CC al parto) y modulada por la alimentación postparto (Dunn et al., 1969). A partir de los resultados obtenidos por Sanz (2000), se considera que una vaca no verá afectado su valor potencial ( $APP_i$ ), si tiene una condición corporal al parto superior a 2.5 y no pierde más de 400 gr/día durante la lactación. Si su CC al parto es inferior a 2.5 pero superior a 2 y no pierde más de 300 gr/día en lactación, su  $APP_i$  se incrementará en 30 días. Si su CC al parto es inferior a 2 y no pierde peso su APP se incrementará en 60 días. Una vaca con pérdidas de peso y CC al parto menor que 2 se considera que aumenta 100 días sobre el valor potencial de anestro postparto del animal.

Figura 5.2 Esquema de la rutina de reparto de la energía (2)



(1) Los déficits de energía se intentan compensar con las reservas corporales. Se permite una variación de peso vivo máxima (ver texto).

- Si la energía de la dieta más las reservas no cubre mantenimiento se produce una subnutrición extrema, no se cubren las necesidades de gestación ni la producción lechera. Una subnutrición de este tipo durante más de 3 días conduce al secado de la vaca, muerte embrionaria y muerte de la vaca.
- Si la energía de la dieta más las reservas cubre mantenimiento pero no gestación se produce una subnutrición severa, no se cubren las necesidades de gestación ni la producción lechera. Una subnutrición de este tipo durante más de 3 días conduce al secado de la vaca y muerte embrionaria.
- Si la energía de la dieta más las reservas cubre mantenimiento y gestación pero no la producción lechera se produce una subnutrición. La producción lechera de la vaca (PLperm) será la permitida por las reservas corporales.

(2) Para detalles de las abreviaturas y cálculos ver texto y capítulo3

Durante el periodo de presencia del toro en el lote se comprueba para todos los animales del lote si han superado el periodo de anestro postparto definido en el párrafo anterior. A partir del primer estro y cada 21 días se considera que la vaca está en celo. Si la vaca está en celo y no ha finalizado el periodo de presencia del toro en el lote, se asume una tasa de fecundación (TF) proporcional al número de cubrición ( $n_{cub}$ ) de la vaca (Azzam et al., 1990):

$$TF_{n_{cub}} = 0.8 - 0.04 \times (n_{cub} - 1)$$

A partir de esta rutina y de las fechas clave de manejo se puede determinar el estado fisiológico de cada vaca día a día y predecir la siguiente fecha de parto de la vaca.

Las ecuaciones del modelo se programaron en Visual Basic 5.0 ©, el programa denominado VACÚN (ver anexo 1) permite gestionar las simulaciones y modificar la mayoría de los parámetros del modelo, especialmente los relacionados con la componente estocástica, y fue utilizado para simular y validar el modelo propuesto.

### **5.3 VALIDACIÓN DEL MODELO**

Para la validación del modelo se utilizaron los datos obtenidos de 10 lotes, de entre 12 y 17 vacas, durante los años 1989 al 1991 en la finca experimental “La Garcipollera” del SIA-DGA en el Pirineo Oscense. Los datos procedían de 149 animales de raza Parda Alpina y se disponía de sus resultados productivos individuales durante el periodo de estabulación invernal. Los lotes utilizados tenían los partos agrupados en otoño (4 lotes) y en primavera (6 lotes) y la duración del periodo de estabulación oscilaba de 134 a 195 días. Durante el periodo de estabulación, las vacas de parto de otoño se encontraban en periodo de lactación, mientras que las de primavera se encontraban en el último tercio de gestación durante la primera parte y en lactación en la segunda parte.

Los detalles de los registros disponibles de las vacas de cada lote se presentan en la Tabla 5.2. En todos los lotes se utilizaron como entrada del modelo los datos diarios

de oferta y rechazo de cada uno de los alimentos ofrecidos. Los lotes simulados tenían las mismas fechas de entrada y salida del toro, así como la fecha de destete, que los lotes reales.

El lote simulado tenía el mismo número de animales que el lote real. De las características iniciales que definían a cada uno de los animales simulados el peso vivo inicial, la condición corporal inicial y la fecha de parto fueron las registradas en los animales reales, el resto de parámetros que definían a cada pareja vaca-ternero se obtenían mediante el muestreo de la multinormal definida en el apartado 5.2.1.3.

Debido al pequeño número de animales de los lotes reales y, en consecuencia, de los simulados, el muestreo de los parámetros estocásticos varía entre repeticiones. Cada repetición tiene por tanto un comportamiento diferente y se puede calcular la varianza empírica entre repeticiones ( $\sigma^2_{emp}$ ) de las variables de salida del modelo. Se utilizaron 10 repeticiones de cada lote de forma que el error estándar de la media de las repeticiones ( $\sqrt{\frac{\sigma^2_{emp}}{10}}$ ) para el peso vivo de la vaca se situara en todos los lotes alrededor del 1% del valor medio de peso vivo.

El animal  $i$  de la repetición  $n$  se simulaba día a día durante todo el periodo de estabulación y las salidas fueron el peso vivo estimado  $PV_{i,n}$ , peso vivo vacío  $PVV_{i,n}$ , condición corporal  $CC_{i,n}$ , peso del ternero  $PT_{i,n}$  y estado fisiológico  $EF_{i,n}$  a intervalos de 7 días.

Para la validación de los resultados se compararon los patrones de evolución de los parámetros medios de las 10 repeticiones de cada lote con los valores reales. La componente estocástica del modelo impone también una validación de la variabilidad dentro de lote predicha por el modelo respecto a la observada. Se utilizó la desviación estándar de cada lote al inicio y al final de los periodos simulados como estimación de la variabilidad de las diferentes salidas del modelo.

**Tabla 5.2 Descripción de las características de los lotes utilizados para la validación del modelo**

Lote	Año	Paridera	inicio control	Duración Estabulación (d)	dias entre control inicial y parto	Número de controles			número vacas	Valor dieta (MJ EM/d) <sup>a</sup>	
						Peso vaca	Peso ternero	Condición corporal		Preparto	Postparto
<b>VM1</b>	1989	Primavera	12/12/88	151	69	19	8	3	17	100	115
<b>VM2</b>									16	52	112
<b>VM3</b>	1989	Otoño	10/10/89	188	0	15	11	4	14	-	84
<b>VM4</b>									17	-	104
<b>VM5</b>	1990	Primavera	9/01/90	134	60	7	5	4	15	45	121
<b>VM6</b>									14	87	118
<b>VM7</b>	1990	Otoño	3/10/90	195	0	12	10	4	12	-	88
<b>VM8</b>									17	-	106
<b>VM9</b>	1991	Primavera	14/12/90	181	86	12	2	4	14	65	99
<b>VM10</b>									13	93	97

<sup>a</sup>Alimentos utilizados en todos los lotes: Harina de cebada, Heno alfalfa, Heno pradera, Paja cebada

## 5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ajuste del peso vivo medio de los lotes reales y de los lotes simulados se presenta en las Figuras 5.3 y 5.4.

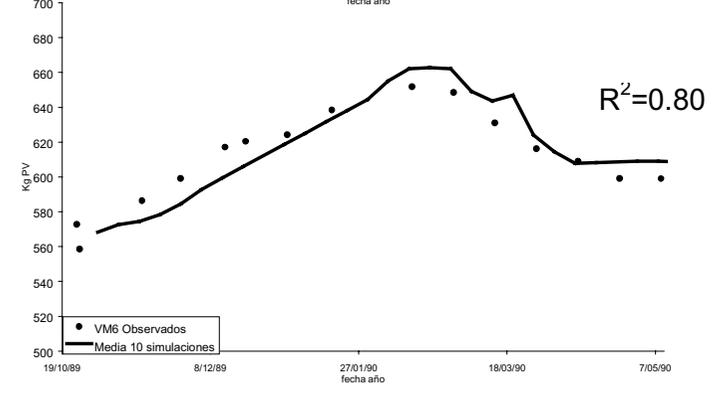
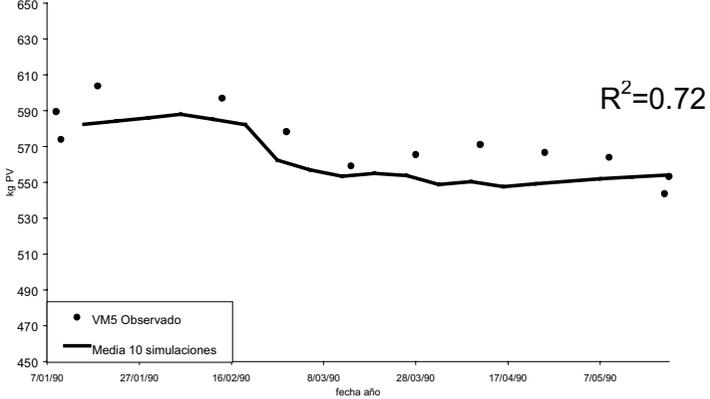
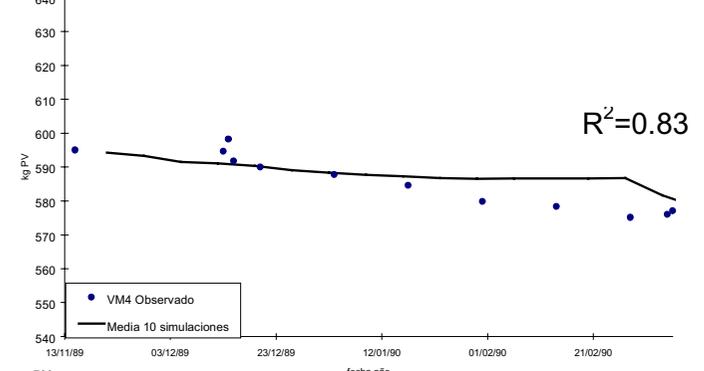
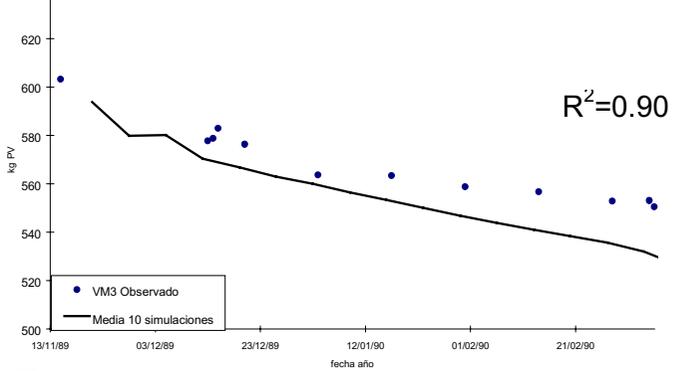
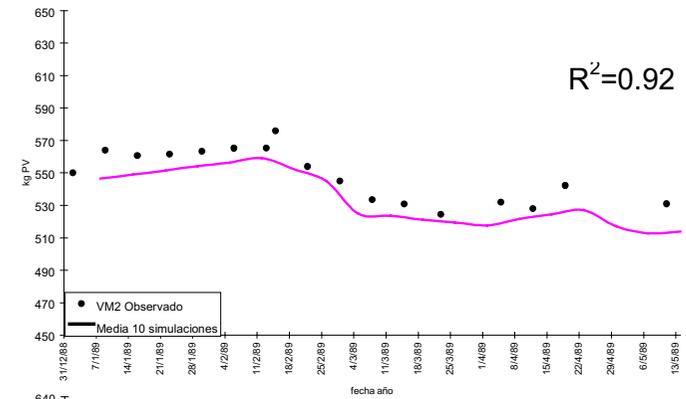
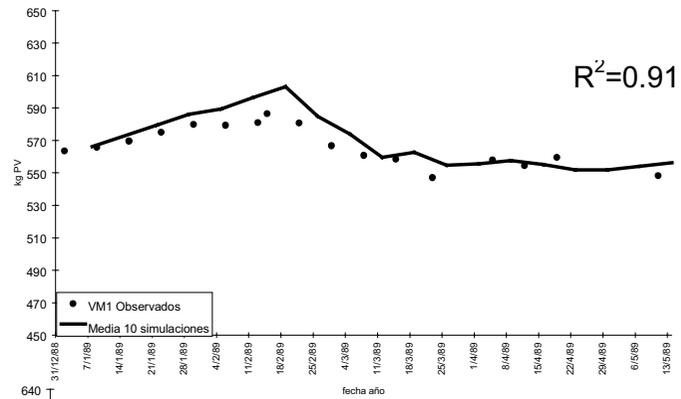
Los valores obtenidos a partir de 10 repeticiones de cada lote tienen una evolución similar a la de los pesos observados en la mayoría de los lotes. El coeficiente de determinación del ajuste entre pesos observados y predichos ( $R^2$ ) se sitúa entre 0.72 y 0.94, excepto en el lote VM8 que tiene un ajuste peor ( $R^2=0.42$ ).

La mayoría de los pesos observados se encuentran dentro del intervalo de confianza (95%) de la media de los valores predichos. Pese a todo, en algún caso se producen desviaciones de entre  $-25$  kg y  $+20$  Kg, alrededor de un 4% del peso vivo. Las desviaciones que se producen en parto parecen indicar una sobreestimación de las reservas acumuladas en los lotes con una alimentación alta parto (VM1,VM6 por ejemplo) y una infraestimación del valor de las reservas en los lotes con una alimentación baja parto (VM2,VM5,VM9).

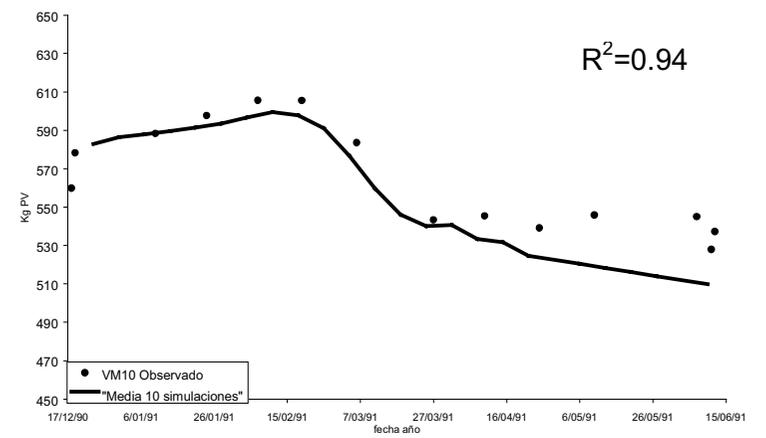
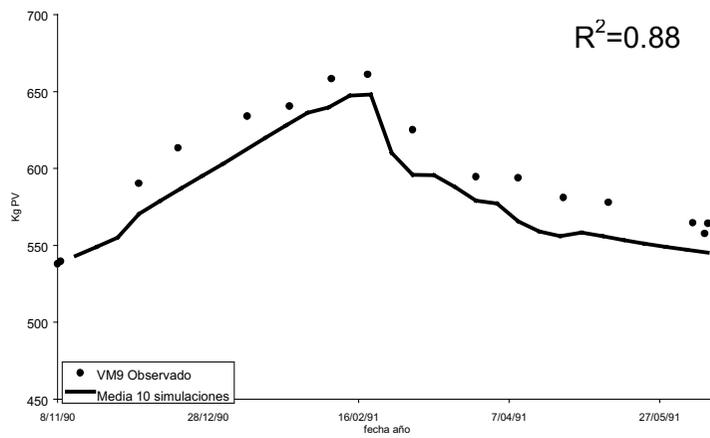
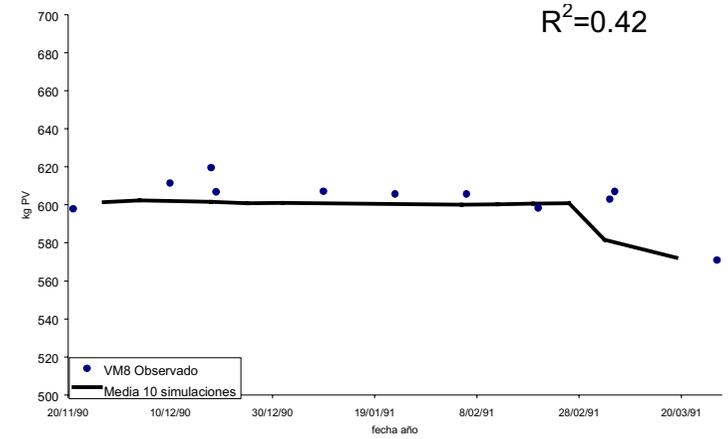
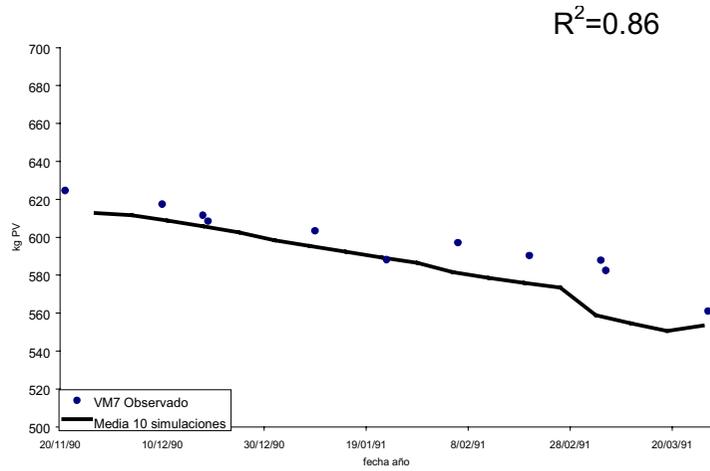
La infraestimación del valor de las reservas podría aumentar en el caso de los lotes con una alimentación restrictiva durante el parto y si el modelo incluyese el efecto de la subnutrición de la vaca sobre el peso del ternero al nacimiento (y con ello sobre el peso vivo de la vaca durante la gestación). Este efecto de la subnutrición sobre el peso del ternero al nacimiento, aunque descrito en el capítulo 4 y en experimentos realizados con vacas de raza Pardo Alpina (Ferrer et al., 1998) no se tuvo en cuenta al no disponer de datos fiables para su estimación, y porque algunos autores consideran que solo una subnutrición muy grave y prolongada afectaría al peso del ternero al nacimiento (Agabriel y Petit, 1987; Holland y Odde, 1992).

En cuanto a la evolución del peso vivo medio de los lotes durante la lactación, se observa que los lotes con niveles nutricionales bajos durante el periodo postparto (VM3, VM7) presentan pérdidas de peso vivo superiores a las observadas. Varias componentes del modelo pueden explicar estas diferencias. Las eficiencias de utilización de las reservas corporales durante la lactación pueden ser inferiores a las reales y el valor de las reservas puede ser mayor al utilizado en el modelo.

Figura 5.3 Peso vivo observado y resultado medio de 10 repeticiones del lote simulado (lotes VM1 a VM6)



**Figura 5.4** Peso vivo observado y resultado medio de 10 repeticiones del lote simulado (lotes VM7 a VM10)



La validación de otros modelos similares al propuesto en vacuno de carne (Broadbent et al., 1984; Arnold y Bennett, 1991) y en porcino (Moughan et al., 1987) achacan las desviaciones observadas en sus predicciones a un valor incorrecto de las reservas y de la eficiencia de su utilización en ciertas situaciones. El presente modelo utiliza las propuestas por el ARC (1980) para la eficiencia de utilización de las reservas durante la lactación ( $k_{rl} = 0.84$ ) y la de depósito ( $k_{fl} = 0.95 * k_l$ ). En recientes estudios Kirkland y Gordon (1999) estimaron en vacas de leche eficiencias durante la lactación muy superiores a las utilizadas en la mayoría de los sistemas de racionamiento de vacuno.

Aunque la evolución de las condiciones corporales tiene un comportamiento similar en los lotes simulados que en los lotes reales (Figura 5.5), los valores finales difieren bastante (Tabla 5.3), cosa que podría indicar que la relación propuesta en el capítulo 3 para relacionar la grasa total y la condición corporal (Chilliard et al., 1987) debería ser estudiada en los animales que se desea simular. De todas formas, la condición corporal es sólo un indicador de las reservas corporales y tiene una componente subjetiva que es difícil de introducir en el modelo.

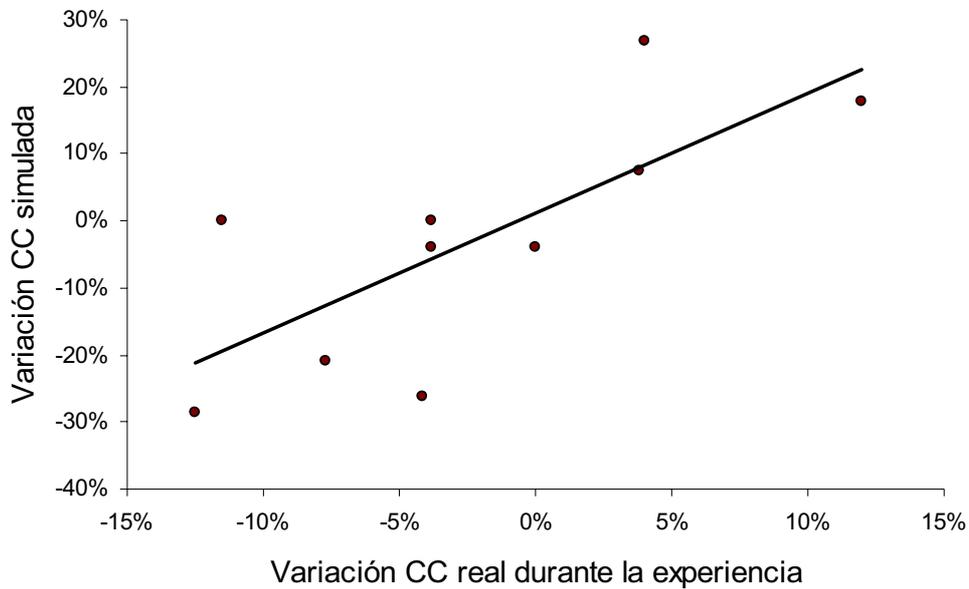
**Tabla 5.3 Condición corporal (simulada y real) al inicio y fin del experimento**

lote	Condición Corporal			
	Real		Simulada (10 repeticiones)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>VM1</b>	2.6	2.7	2.7	2.9
<b>VM2</b>	2.6	2.5	2.6	2.5
<b>VM3</b>	2.6	2.4	2.5	2.0
<b>VM4</b>	2.6	2.5	2.6	2.6
<b>VM5</b>	2.6	2.3	2.5	2.5
<b>VM6</b>	2.5	2.6	2.5	3.2
<b>VM7</b>	2.4	2.3	2.4	1.8
<b>VM8</b>	2.5	2.5	2.5	2.4
<b>VM9</b>	2.4	2.1	2.4	1.8
<b>VM10</b>	2.5	2.8	2.5	3.0

*correlación CC final simulada-real*

*r=0.84*

**Figura 5.5 Relación entre lotes reales y simulados para la variación de condición corporal entre el inicio y el fin del experimento (%)**



El modelo simula de forma ajustada la ganancia media diaria del ternero en la mayoría de lotes (ver Tabla 5.4). El coeficiente de determinación, entre los pesos observados y los predichos de los terneros de los diferentes lotes, va de un mínimo de 0.85 a un máximo de 0.99. Aún así, la estima de los lotes VM1 y VM2 está bastante por debajo de los valores observados. Probablemente el crecimiento de los terneros de estos lotes se vea limitado por el valor medio del parámetro GMD\_T introducido en el modelo (Tabla 5.1).

Es posible que el potencial de crecimiento de los terneros sea superior al valor utilizado en el modelo, sobretodo teniendo en cuenta que las estimas del capítulo 4 fueron realizadas en terneros que únicamente recibían como alimentación la leche de sus madres. En resultados obtenidos en terneros de raza Parda suplementados se observan ganancias medias diarias muy superiores a las estimadas en el capítulo 4 (Casasús, resultados no publicados).

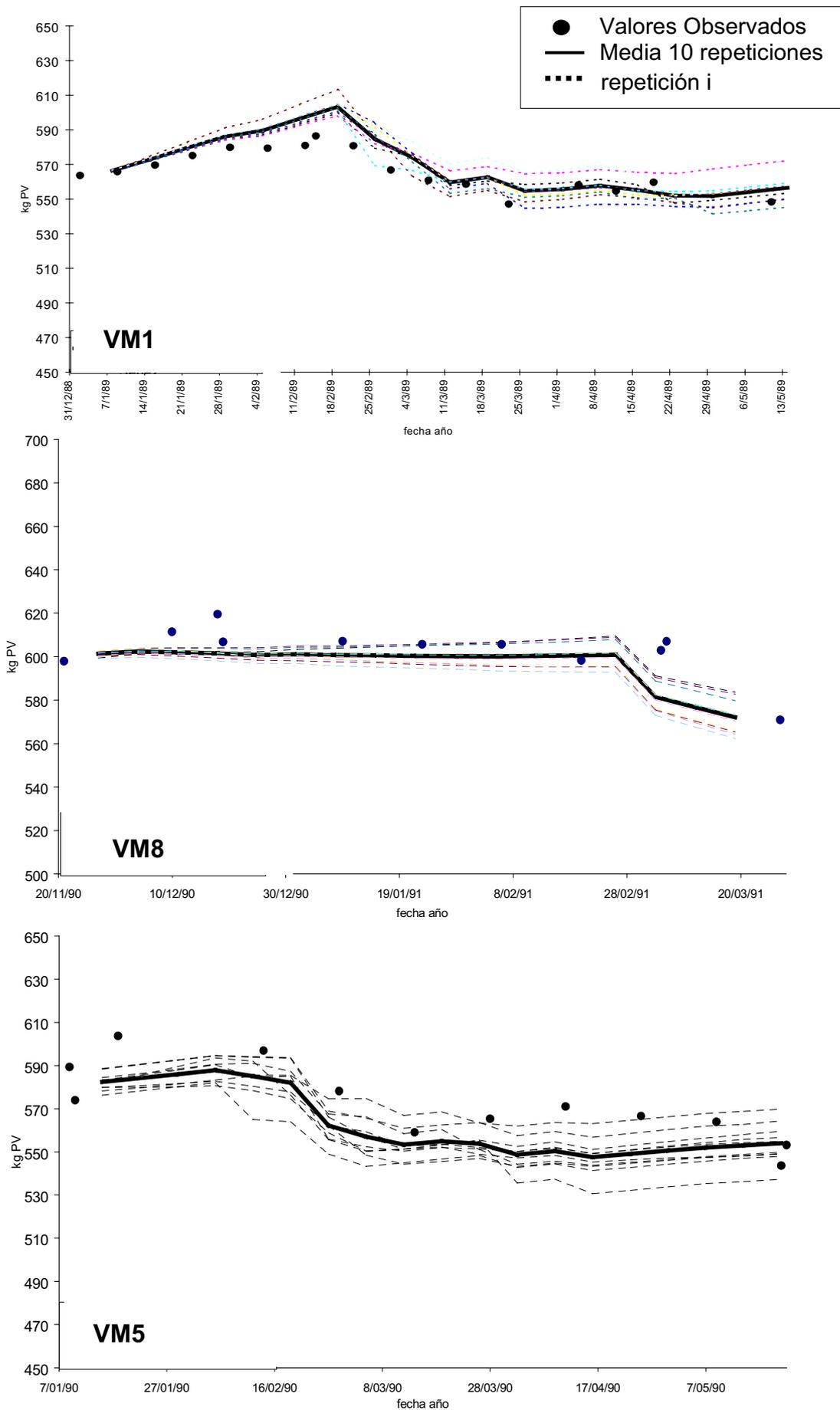
Tabla 5.4 Ganancia media diaria (kg) del ternero simulada y real.

lote	Ganancia Media diaria (kg)			
	Real		Simulada (10 repeticiones/lote)	
	Media	Error estándar	Media	Error estándar
<b>VM1</b>	1.12	0.029	0.94	0.021
<b>VM2</b>	1.00	0.027	0.91	0.029
<b>VM3</b>	0.88	0.027	0.92	0.026
<b>VM4</b>	1.00	0.021	0.95	0.025
<b>VM5</b>	0.94	0.040	0.94	0.026
<b>VM6</b>	0.94	0.049	0.93	0.028
<b>VM7</b>	0.87	0.027	0.87	0.029
<b>VM8</b>	0.97	0.029	0.93	0.024
<b>VM9</b>	0.69	0.032	0.85	0.056
<b>VM10</b>	0.89	0.040	0.94	0.028

En el valor fenotípico de un carácter como el peso al destete influyen las componentes genéticas y ambientales, tanto directas como maternas (Quintanilla, 1998). Para la descripción correcta del crecimiento predestete no sólo es necesario estimar las varianzas de dichas componentes, sino también de las correlaciones entre ellas. Por ello la estimación de parámetros relacionados con el crecimiento predestete es compleja, y en muchos casos, como en el presente, se puede pensar que las estimas de potencial de crecimiento de terneros únicamente alimentados por sus madres pueden estar confundidas con el potencial lechero de la vaca.

El análisis de la variabilidad obtenida al utilizar un modelo de tipo estocástico se puede enfocar desde dos puntos de vista. En primer lugar, el hecho de asignar a cada animal ciertas características iniciales permite simular la variabilidad de la respuesta animal dentro de cada repetición. Por otro lado, existe una variabilidad entre repeticiones, debida al efecto del muestreo de los parámetros estocásticos de los animales de cada repetición, que se puede ver representada gráficamente en la Figura 5.6.

**Figura 5.6 Evolución de los pesos vivos estimados en 10 repeticiones y de los pesos vivos reales**



Los resultados que se presentan en la Tabla 5.5 se refieren a la variabilidad dentro de lote y pretenden comparar la desviación típica real (del PV, CC y Peso del ternero) con la desviación típica media de las 10 repeticiones efectuadas en cada lote, con el objeto de comprobar si el modelo predice de forma adecuada la variabilidad del lote.

Aunque en algún caso la desviación típica de los pesos simulados al final del experimento es similar a la observada (VM3, VM4, VM5, VM8), en general los datos reales de peso final, variación de peso y condición corporal final, fueron menos variables que los simulados por el modelo. El coeficiente de variación de los datos simulados fue en algún caso un 5% superior al observado para el peso final, y un 21% superior al observado para la condición corporal final.

**Tabla 5.5 Desviación típica observada y simulada por el modelo para el peso vivo final, variación del peso vivo, condición corporal final y peso del ternero final.**

<b>Lote</b>	<b>Peso vivo vaca</b>		<b>Variación Peso vivo</b>		<b>Condición corporal</b>		<b>Peso ternero</b>	
	<i>real</i>	<i>simulado</i>	<i>real</i>	<i>simulada</i>	<i>real</i>	<i>simulada</i>	<i>real</i>	<i>simulado</i>
<b>Vm1</b>	26	45	27	36	0.23	0.53	28	23
<b>Vm2</b>	41	56	19	33	0.13	0.39	27	25
<b>Vm3</b>	52	54	33	48	0.15	0.45	27	28
<b>Vm4</b>	44	52	23	34	0.12	0.54	26	20
<b>Vm5</b>	27	43	16	39	0.18	0.63	23	17
<b>Vm6</b>	27	59	18	42	0.14	0.50	24	21
<b>Vm7</b>	52	57	25	34	0.26	0.41	26	22
<b>Vm8</b>	47	52	30	28	0.21	0.42	33	26
<b>Vm9</b>	31	49	16	42	0.14	0.49	19	22
<b>Vm10</b>	34	62	25	53	0.26	0.80	18	23

Existen varias razones que pueden explicar la mayor dispersión de los valores simulados en comparación con los observados. En primer lugar puede ser síntoma de una excesiva variabilidad de los parámetros definidos como estocásticos en el modelo. Por otro lado, la estructura de correlaciones entre dichos parámetros también puede influir en la variabilidad predicha (Elston y Glasbey, 1991). Así, las correlaciones de la matriz  $V$ , que en parte fueron obtenidas de la bibliografía, pueden provocar un incremento de la variabilidad de las salidas del modelo, sobretodo si las correlaciones son elevadas. Por último, el hecho de que la alimentación fuera en grupo, y pese a que la utilización de cornadizas tiende a asegurar un consumo similar de la mayoría de alimentos, no evita totalmente una ingestión diferencial de algunos alimentos por parte de algunos animales, que puede compensar en parte sus mayores o menores necesidades y por tanto contribuya a reducir la variabilidad observada.

En cuanto a la variabilidad del peso final del ternero, de gran importancia en el ámbito económico, la desviación típica de los valores simulados es muy similar a la observada. La bondad en la predicción de la variabilidad del peso al destete de los terneros es de gran utilidad para decidir entre diferentes alternativas de manejo, que pueden tener valor medios similares pero diferencias en cuanto a dispersión de los resultados.

## 5.5 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO

i) El modelo permite simular lotes de animales, con características iniciales diferentes entre animales. El hecho de poder modelizar el comportamiento de lotes complejos con una determinada distribución de partos y de condiciones iniciales dentro del lote permite simular las condiciones que se dan en las explotaciones de vacuno de carne, en las que los animales se agrupan en lotes a los que se raciona conjuntamente. Esta alimentación conjunta, añadida a la variabilidad del lote puede llevar a diferentes niveles de alimentación y de gestión de las reservas corporales en función, no solo de las características de cada animal, sino también de su estado fisiológico concreto, situaciones que son simuladas adecuadamente por el modelo.

ii) Aunque las simulaciones del modelo se ajustan bien a los datos reales, la predicción del modelo podría mejorarse. Sería importante obtener más información sobre el valor de las reservas corporales y de las eficiencias de utilización de la energía en las razas que se pretendan simular, y en vacas alimentadas con dietas similares a las utilizadas en la gestión habitual de los rebaños. Aspectos, por otra parte, poco estudiados en razas de aptitud cárnica.

iii) La componente estocástica del modelo permite obtener información sobre la dispersión de la respuesta de un lote, muy importante a la hora de predecir la respuesta reproductiva del lote y para la toma de decisiones con relación a diferentes alternativas de manejo.

iv) Una hipotética modelización estocástica en condiciones en las que la ingestión no está controlada debería contemplar, además de los parámetros ya incluidos, uno que se refiriese a la ingestión potencial de materia seca. El estudio sobre los potenciales de ingestión media y de la variabilidad individual de las razas explotadas en nuestras zonas, y en las condiciones en que son explotadas, han de proporcionar una información muy útil para la extensión del modelo a los momentos en que el animal está en pastoreo.

v) La información referente a la variación individual de los diferentes parámetros que definen a un animal, y de la correlación entre ellos, es poca y puede influir de forma importante en el comportamiento del modelo. Además de la obtención de estos parámetros en razas de vacuno de carne a partir de datos reales, que es difícil por el tipo de medidas a realizar y el gran número de animales necesario, una de las vías de estudio es la simulación de diferentes escenarios de variación y su validación con datos reales. Por ello, el programa VACÚN (ver anejo) permite la inclusión de nuevos parámetros estocásticos y la modificación de los actuales con el objeto de ser útil en la investigación de la variabilidad individual en vacas nodrizas.



## **6. UTILIZACIÓN DE UN MODELO ESTOCÁSTICO PARA LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUBNUTRICIÓN DURANTE LA ESTABULACIÓN**

---



## 6.1 INTRODUCCIÓN

La utilización de modelos de simulación puede servir para el análisis de las repercusiones productivas y reproductivas de las diferentes estrategias de manejo, así como para contrastar hipótesis sobre el funcionamiento del sistema, que serían costosas de realizar a nivel real.

En las explotaciones de montaña la subnutrición o la restricción alimenticia durante la estabulación invernal son prácticas utilizadas. Esta política de restricción alimentaria es una forma de reducir los costes de producción, en particular, los originados por el mantenimiento de las reproductoras, para mejorar la productividad del rebaño de vacas (Gibon, 1981; Petit, 1990). Las diferentes intensidades y momentos de aplicación de la subnutrición, proporcionan múltiples alternativas de manejo durante la estabulación, especialmente si se combina con la posibilidad de tener animales con parto en otoño y parto en primavera.

En el presente capítulo se utilizará el modelo estocástico descrito anteriormente para simular diferentes estrategias de subnutrición y comprobar sus efectos sobre los rendimientos productivos y reproductivos de un rebaño de vacas.

## 6.2 MATERIAL Y MÉTODOS

El modelo utilizado es el presentado en el capítulo 5 y para la simulación de las diferentes alternativas se ha utilizado el programa VACÚN (anejo 1). El modelo simula de forma individual un lote de animales, teniendo en cuenta la variabilidad inicial del lote (en peso vivo, condición corporal, y día de gestación). Por otro lado, el modelo incluye una componente estocástica que recoge la variabilidad individual de los parámetros que definen a cada vaca (necesidades energéticas de mantenimiento, producción lechera inicial, persistencia de la producción lechera, peso nacimiento del

ternero, ganancia media diaria del ternero y duración del anestro postparto, ver Tabla 5.1). Con todo ello se puede simular un rebaño de vacas en las condiciones de las explotaciones del Pirineo, en las que se gestiona en forma de lote un grupo heterogéneo de animales, no sólo en cuanto a sus características iniciales, sino también en su fecha de parto.

Las entradas del modelo son las características iniciales del lote a simular (valor medio y variabilidad), las pautas de alimentación durante la estabulación y las fechas clave del manejo reproductivo.

Para obtener las características iniciales de las simulaciones se utilizaron datos de vacas de raza Parda Alpina obtenidos durante 9 años en la finca experimental "La Garcipollera" del SIA-DGA (para una descripción ver Casasús, 1998). Las simulaciones propuestas pretenden simular el comportamiento del rebaño durante el periodo de estabulación por lo que se consideraron como valores iniciales los datos de los animales en el momento de la finalización del periodo de pastoreo.

En las vacas con parto de otoño este momento es la bajada de los pastos de puerto (a mediados de septiembre). Las vacas de parto de otoño están en el establo hasta el 15 de marzo, fecha en que se destetan los terneros (duración de la estabulación 181 días). Las vacas con parto en primavera finalizan el pastoreo a mediados de diciembre (después de un pastoreo de las praderas de fondo de valle y de las zonas boscosas) y la estabulación se alarga hasta mediados de junio, en que las vacas suben a los pastos de puerto (duración de la estabulación 188 días).

Para obtener los datos iniciales de la simulación se disponía de 398 registros de vacas con parto de otoño y 215 de vacas con parto de primavera. En la Tabla 6.1 se presentan las características de los dos grupos de animales a simular.

Para obtener la distribución de partos del lote a partir de la fecha media y su dispersión, se utilizó un muestreo de la función de distribución gamma. Este tipo de distribución era el que se ajustaba mejor a la distribución de partos observada. Las fechas clave del manejo reproductivo fueron, además del parto, la fecha de entrada del toro en el lote (50 días después de la fecha media de parto) y la duración del periodo de cubriciones del lote (60 días).

## 6.2.1 Alternativas simuladas

### 6.2.1.1 Estrategias de subnutrición invernal de vacas con parto de otoño.

Se definió una alternativa denominada como  $OT_{CONTROL}$ . Esta alternativa se define como el aporte durante toda la estabulación del 100% de las necesidades energéticas propuestas por el AFRC (A.F.R.C., 1990), tomando como base para el cálculo los datos medios del lote.

**Tabla 6.1 Características iniciales (Media y desviación estándar) utilizadas para la simulación de estrategias de manejo durante la estabulación.**

	<b>LOTES DE VACAS CON PARTO EN OTOÑO</b>	<b>LOTES DE VACAS CON PARTO EN PRIMAVERA</b>
Características del lote		
Peso vivo inicial	615 (59)	546 (47)
Condición corporal inicial	2.75 (.2)	2.25 (.2)
Día gestación inicial	244 (24)	195 (31)
Día estabulación	15 septiembre	15 diciembre
Día inicio paridera	15 de septiembre	1 de febrero
Día medio parto	15 de octubre	1 de marzo
Día entrada toro	4 de diciembre	20 de abril
Duración periodo cubriciones	60	60
Día fin estabulación	15 de marzo	20 de junio
Duración de la estabulación	182	188

Se simularon tres estrategias de subnutrición (Tabla 6.2): i) Subnutrición de un 20% de las necesidades energéticas de toda la estabulación, durante toda la lactación ( $OT_{BAJO1}$ ); ii) La misma subnutrición pero únicamente en los dos tercios finales de la lactación ( $OT_{BAJO2}$ ); iii) Simulación de una subnutrición desde mediados de septiembre a mediados de diciembre, afectando tanto al preparto como al postparto

temprano ( $OT_{BAJO3}$ ).

Las dos primeras estrategias responderían, de manera general, al objetivo de reducción de los costes de alimentación. La opción  $OT_{BAJO2}$  pretendería establecer un nivel restrictivo en un momento en que, a priori, no afectaría al reinicio de la actividad ovárica postparto. La última estrategia sería una primera aproximación a las condiciones nutricionales que tendrían los animales de parto de otoño en el caso de alargar el pastoreo aprovechando los pastos de fondo de valle durante el otoño.

**Tabla 6.2 Alternativas simuladas en la paridera de otoño. Definición de las estrategias en función de la energía metabolizable subministrada (MJ/vaca y día) durante la estabulación.**

Alternativa	PREPARTO (30 días)		POSTPARTO (152 días)	
		15 septiembre <sup>a</sup> ↓	15 octubre <sup>b</sup> ↓	
$OT_{CONTROL}$	83		100	
	15 septiembre <sup>a</sup> ↓	15 octubre <sup>b</sup> ↓		15 marzo <sup>a</sup> ↓
$OT_{BAJO1}$	83		74	
	15 septiembre <sup>a</sup> ↓	15 octubre <sup>b</sup> ↓	28 noviembre <sup>a</sup> ↓	15 marzo <sup>a</sup> ↓
$OT_{BAJO2}$	83	101	62	
	15 septiembre <sup>a</sup> ↓		15 diciembre <sup>a</sup> ↓	15 marzo <sup>a</sup> ↓
$OT_{BAJO3}$	66		100	

<sup>a</sup> Fecha fija para todos los animales del lote

<sup>b</sup> Fecha media del lote simulado, los animales pasan del lote preparto al posparto el día de parto

6.2.1.2 Estrategias de subnutrición invernal de vacas con parto de primavera.

En la paridera de primavera se simuló la alternativa de subnutrición durante el preparto, periodo de máxima sensibilidad del rebaño al manejo alimenticio. Se definió una estrategia de control ( $PR_{CONTROL}$ ) con una alimentación al 100% de las necesidades energéticas de mantenimiento y gestación, estimadas a partir de la características medias del lote. Las estrategias de subnutrición durante el preparto se plantearon como una alimentación al 80% ( $PR_{BAJO1}$ ) y al 90% ( $PR_{BAJO2}$ ) de las necesidades de energía del lote  $PR_{CONTROL}$  (Tabla 6.3)

Se simularon las diferentes alternativas en lotes de 50 animales, con una repetición por lote, que cumplieran las condiciones iniciales definidas en la Tabla 6.1. Las estrategias de alimentación se aplicaron hasta el inicio previsto del pastoreo y las salidas del modelo consideradas fueron: el peso del ternero (PT), peso vivo de la vaca (PV), la condición corporal (CC) y la fertilidad media del lote. El hecho de que el modelo fuera estocástico permitía obtener, no sólo una predicción del comportamiento medio del lote, sino también la variabilidad de los resultados productivos y reproductivos del lote.

**Tabla 6.3 Alternativas simuladas en la paridera de primavera. Definición de las estrategias en función de la energía metabolizable suministrada (MJ/vaca y día) durante la estabulación.**

Alternativa	PREPARTO (78 días)	POSTPARTO (111 días)
	15 diciembre <sup>a</sup>	1 marzo <sup>b</sup> 20 junio <sup>a</sup>
	↓	↓ ↓
$PR_{CONTROL}$	73	99
	15 diciembre <sup>a</sup>	1 marzo <sup>b</sup> 20 junio <sup>a</sup>
	↓	↓ ↓
$PR_{BAJO1}$	58	99
	15 diciembre <sup>a</sup>	1 marzo <sup>b</sup> 20 junio <sup>a</sup>
	↓	↓ ↓
$PR_{BAJO2}$	66	99

<sup>a</sup> Fecha fija para todos los animales del lote

<sup>b</sup> Fecha media del lote simulado, los animales pasan del lote preparto al posparto el día de parto

## 6.3 RESULTADOS

### 6.3.1 Estrategias de subnutrición en la paridera de otoño

En la Tabla 6.4 se presentan la energía metabolizable utilizada en preparto y postparto en las cuatro alternativas simuladas.

La alimentación de los lotes OT<sub>BAJO1</sub> y OT<sub>BAJO2</sub> fue calculada para que, teniendo en cuenta los datos de una vaca media, y considerando una paridera uniforme, proporcionasen la misma energía durante la estabulación (un 80% de la del lote control). Teniendo en cuenta el día de parto de cada vaca dentro del lote simulado y por tanto los días que recibió cada una de las dietas que definían la alternativa, la energía proporcionada fue del 76% para el lote OT<sub>BAJO1</sub> y del 77% para el lote OT<sub>BAJO2</sub>.

**Tabla 6.4 Energía metabolizable (GJ) utilizada durante la estabulación en los lotes de 50 vacas simulados con parto de otoño**

Alternativa	Energía metabolizable (GJ)	Subnutrición	Reducción coste (ptas) alimentación invernal por vaca <sup>a</sup>
OT <sub>CONTROL</sub>	893	--	--
OT <sub>BAJO1</sub>	682	24%	6964
OT <sub>BAJO2</sub>	689	23%	6715
OT <sub>BAJO3</sub>	755	16%	4545

<sup>a</sup>Teniendo en cuenta un alimento tipo "unifeed" de 10 MJ EM/kg a 16.5 ptas/kg

Los resultados de las simulaciones para el periodo de estabulación de las vacas de parto de otoño se presentan en la Tabla 6.5.

**Tabla 6.5 Resultados medios de cada lote simulado para las estrategias de subnutrición en vacas con parto en otoño. Media del lote (error estándar) <sup>a</sup>**

		Lote simulado <sup>b</sup>			
		OT <sub>CONTROL</sub>	OT <sub>BAJO1</sub>	OT <sub>BAJO2</sub>	OT <sub>BAJO3</sub>
Inicio 21/9/99	Número	50	50	50	50
	Peso vivo (PV, kg)	608 (8.6)	596 (9.9)	608 (10.4)	601 (10.1)
	PV vacío (kg)	494 (7.5)	472 (10.3)	475 (10.1)	482.9 (8.9)
	Condición corporal	2.76 (0.04)	2.67 (0.04)	2.74 (0.04)	2.74 (0.03)
Fin 14/3/00	Número	50	50	50	50
	Peso vivo (PV, kg)	552 (7.5) <sup>x</sup>	455 (10.0) <sup>z</sup>	457 (9.7) <sup>z</sup>	497 (8.9) <sup>y</sup>
	PV vacío (kg)	483 (6.9) <sup>x</sup>	400 (9.2) <sup>z</sup>	404 (9.0) <sup>z</sup>	432 (8.2) <sup>y</sup>
	Condición corporal	2.63 (0.06) <sup>x</sup>	1.76 (0.05) <sup>z</sup>	1.85 (0.04) <sup>z</sup>	2.12 (0.06) <sup>y</sup>
	Peso ternero (kg)	190 (3.0) <sup>x</sup>	171 (3.7) <sup>z</sup>	178 (2.9) <sup>z</sup>	187 (2.5) <sup>x</sup>
	Ganancia de peso del ternero (kg/d)	0.94 (0.013) <sup>x</sup>	0.81 (0.023) <sup>z</sup>	0.86 (0.014) <sup>yz</sup>	0.90 (0.013) <sup>y</sup>
	Variación PV (kg)	-56 (6.9) <sup>x</sup>	-140 (8.5) <sup>z</sup>	-151 (6.6) <sup>z</sup>	-104 (7.6) <sup>y</sup>
	Variación PVV (kg)	-11 (3.7) <sup>x</sup>	-73 (4.1) <sup>z</sup>	-71 (3.4) <sup>z</sup>	-50.3 (4.7) <sup>y</sup>
	Variación CC	-0.13 (0.06) <sup>x</sup>	-0.91 (0.05) <sup>z</sup>	-0.9 (0.04) <sup>z</sup>	-0.62 (0.06) <sup>y</sup>

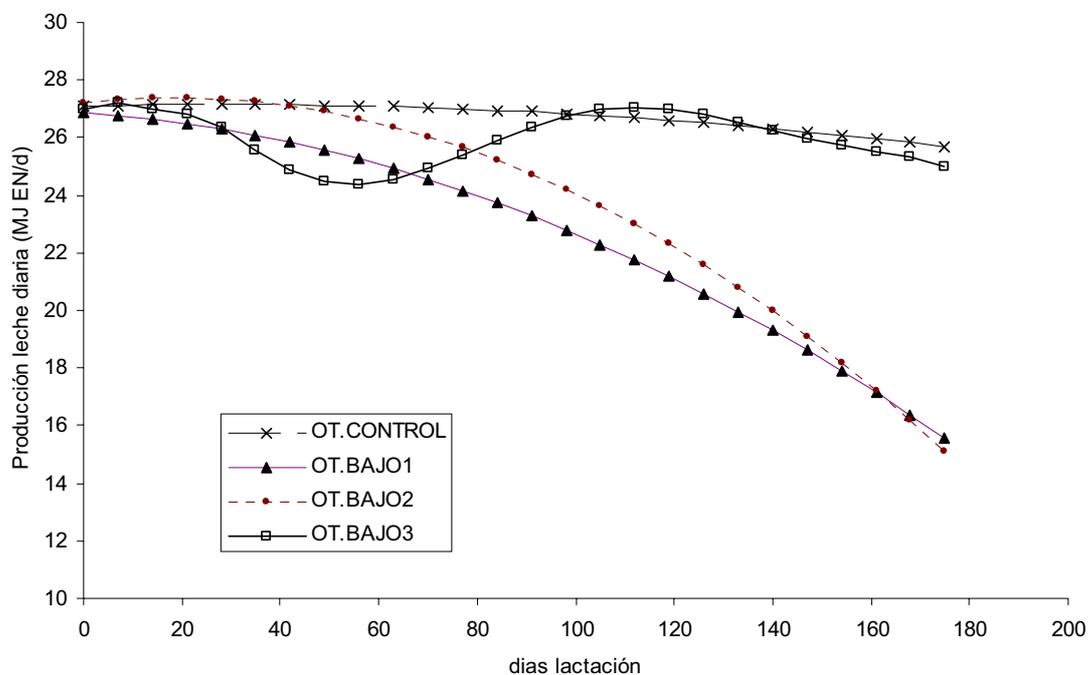
<sup>a</sup> En una línea, medias con distintas letras son diferentes (p<.05); <sup>b</sup> BAJO1: subnutrición durante toda la lactación, BAJO2: subnutrición en los dos tercios finales de lactación, BAJO3: subnutrición de septiembre a diciembre (para una descripción detallada de la alternativa simulada ver texto)

La primera salida del modelo, y que se considera como los datos iniciales de los lotes simulados es el 21 de septiembre (7 días después del inicio de la simulación). Ninguna de las características medias iniciales de los cuatro lotes simulados presentan diferencias estadísticamente significativas.

Al final del periodo simulado no se han detectado diferencias en ninguna de las variables productivas entre el lote con subnutrición continua ( $OT_{BAJO1}$ ) y el lote con subnutrición en el segundo tercio de gestación ( $OT_{BAJO2}$ ).

Independientemente de la alternativa,  $OT_{BAJO1}$  o  $OT_{BAJO2}$ , una subnutrición de un 23% sobre las necesidades energéticas del lote  $OT_{CONTROL}$  (4145 MJ por vaca durante el periodo de estabulación) conduce a una pérdida de CC de aproximadamente 0.78, y unos terneros 12.5 kg más ligeros al destete, que los presentados por el lote  $OT_{CONTROL}$ .

**Figura 6.1 Producción de leche (MJ EN/d) media simulada de los lotes con parto de otoño.**



En la Figura 6.1 se presenta la producción de leche de los dos lotes, comparándolos con el lote  $OT_{CONTROL}$ . Se puede observar que la producción media del lote  $OT_{BAJO2}$

se mantiene a niveles parecidos a los del lote  $OT_{CONTROL}$  hasta el día 50 postparto, puesto que un porcentaje alto de las vacas ha pasado parte de este periodo sin restricciones energéticas. A partir del día 50 postparto se produce una disminución constante de la producción lechera media del lote, que al final de la lactación se sitúa al mismo nivel que la del lote  $OT_{BAJO1}$ .

Los dos lotes subnutridos ( $OT_{BAJO1}$  y  $OT_{BAJO2}$ ) produjeron en forma de leche 657 y 401 MJ de EN/vaca menos que el lote  $OT_{CONTROL}$  respectivamente.

En cuanto a los rendimientos de los terneros, existen diferencias significativas entre el lote  $OT_{CONTROL}$  y los otros lotes para el peso al destete ( $19 \pm 3.3$  y  $12 \pm 3.0$  kg de diferencia entre el lote control y el lote  $OT_{BAJO1}$  y el  $OT_{BAJO2}$ , respectivamente). La mayor producción total de leche (256 MJ de EN/vaca durante toda la lactación) del lote  $OT_{BAJO1}$  sólo se traduce en 7 kg más que el lote  $OT_{BAJO2}$  al destete, diferencia por otro lado no significativa.

Teniendo en cuenta la energía neta disponible para cada animal después de cubrir las necesidades de mantenimiento y gestación, y la producción de leche de cada animal, se puede calcular la energía aportada por las reservas corporales para la producción de leche. Este valor es de un 38% y un 35% para el lote  $OT_{BAJO1}$  y  $OT_{BAJO2}$  respectivamente.

La alternativa  $OT_{BAJO3}$  simula un retraso de la estabulación de las vacas de parto de otoño, centrando la subnutrición en el final del preparto e inicio de la lactación. Esta subnutrición (de un 16% sobre el lote  $OT_{CONTROL}$ ) hace perder a las vacas significativamente más peso vivo vacío y más condición corporal al final del periodo de simulación que el lote  $OT_{CONTROL}$  (Tabla 6.5).

El efecto de la subnutrición sobre la producción de leche del lote  $OT_{BAJO3}$  se puede ver reflejada en la Figura 6.1. La producción de leche por vaca es, en este lote, 250 MJ EN menor que la del lote control. Esta menor producción de leche tiene un efecto pequeño y no significativo sobre el peso al destete de los terneros. La energía aportada por las reservas corporales para la producción de leche es en este lote de un 24% de la energía total producida en forma de leche.

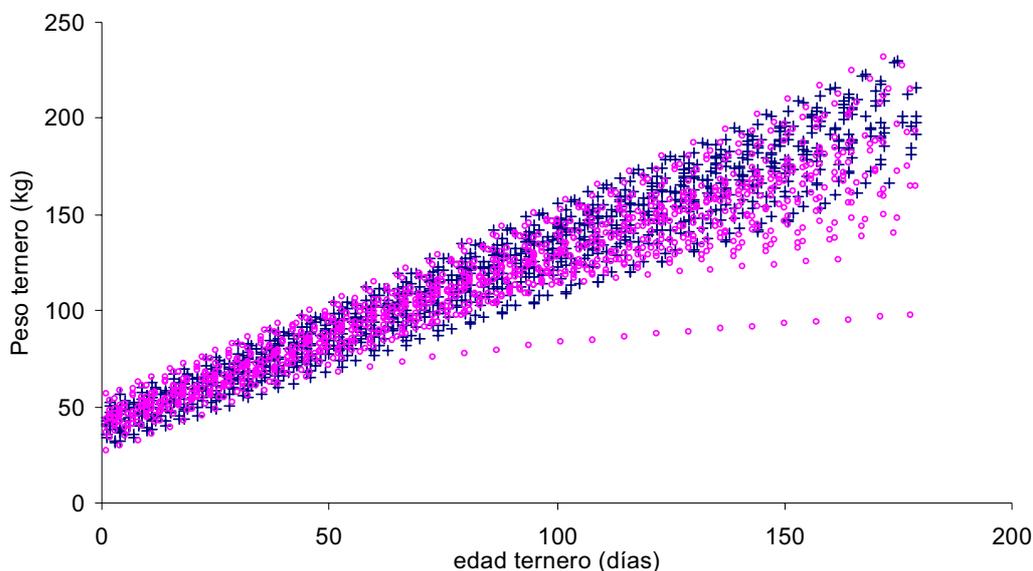
El número de vacas gestantes al final del periodo simulado fue similar en los 4 lotes de otoño (entre 47 y 49). Por el contrario, el intervalo entre partos medio de los lotes

que se produciría en función del día de cubrición simulado para cada vaca parece indicar un peor resultado reproductivo de los lotes OT<sub>BAJO2</sub> (con 8 días más que el lote OT<sub>CONTROL</sub>) y OT<sub>BAJO3</sub> (con 21 días más que el OT<sub>CONTROL</sub>).

Las diferencias productivas entre lotes se acentúan si consideramos la variabilidad de la respuesta entre animales, que es mayor en los animales sometidos a subnutrición. El coeficiente de variación del peso vivo vacío, por ejemplo, que inicialmente se sitúa en los tres lotes en un 9.6%, al final del experimento es alrededor de 16% para los lotes OT<sub>BAJO1</sub> y OT<sub>BAJO2</sub>, mientras que sólo es 10% en el lote OT<sub>CONTROL</sub>.

El rendimiento de los terneros también es más variable en la alternativa de subnutrición continua, así en la ganancia media de los terneros se observa un aumento de la variabilidad de la respuesta del lote OT<sub>BAJO1</sub> (CV=20%) frente al lote OT<sub>BAJO2</sub> (CV=12%) y el lote OT<sub>CONTROL</sub> (CV=9.3%). Esta diferencia en la variabilidad del peso del ternero se puede ver en la Figura 6.2.

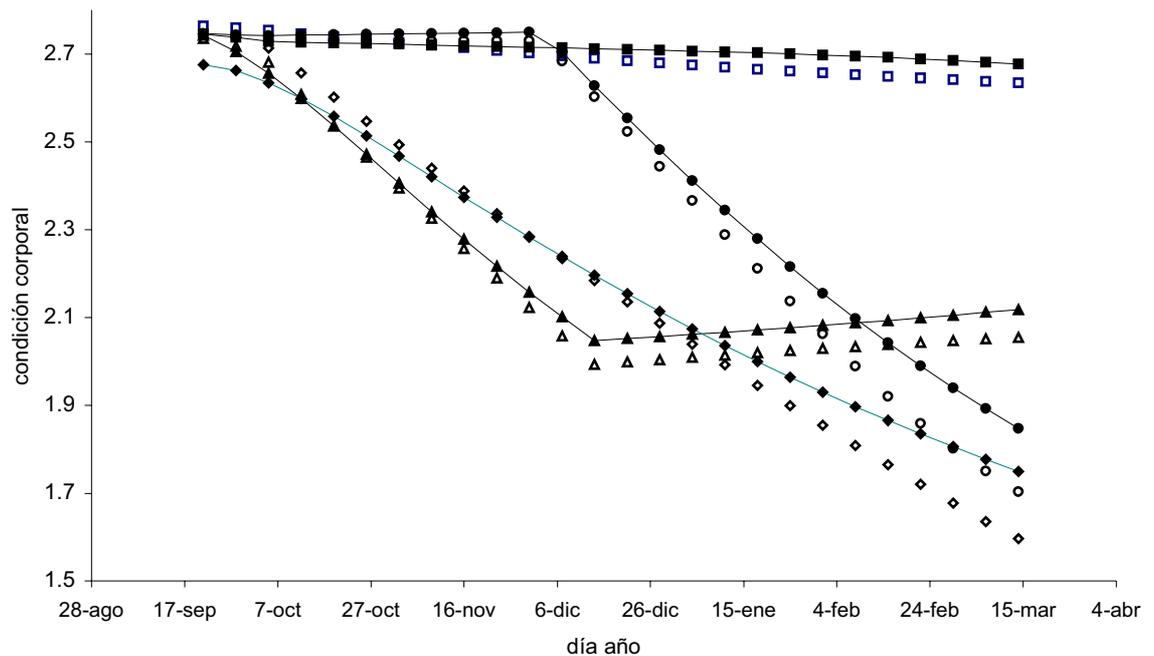
**Figura 6.2 Peso de los terneros (kg) simulados en dos lotes simulados con parto de otoño. Lote OT<sub>CONTROL</sub> (+) y OT<sub>BAJO1</sub> (O)**



La utilización de un modelo que permite simular a los animales de forma individual implica una respuesta media diferente a la que se produciría en un modelo en el que sólo se tuviera en cuenta un animal con las condiciones medias del lote. Un ejemplo

de las diferencias entre las medias de CC de los lotes obtenidas mediante simulación estocástica y la determinista se puede observar en a Figura 6.3

**Figura 6.3 Condición corporal de los lotes con parto de otoño simulados estocás icamente (—■—OT<sub>CONTROL</sub>; —◆—OT<sub>BAJO1</sub>; —●—OT<sub>BAJO2</sub>;—▲—OT<sub>BAJO3</sub>) y de forma t determinista ( □ OT<sub>CONTROL</sub>; ◇ OT<sub>BAJO1</sub>; ○ OT<sub>BAJO2</sub>; y △ OT<sub>BAJO3</sub>)**



### 6.3.2 Estrategias de subnutrición en la paridera de primavera

En la Tabla 6.6 se presentan la energía suministrada a los lotes simulados con parto de primavera.

La subnutrición prevista era de un 80% y un 90% de la energía del parto para los lotes PR<sub>BAJO1</sub> y PR<sub>BAJO2</sub>, respectivamente. Estos valores se convierten en una subnutrición del 7% y del 4% si se tiene en cuenta los aportes totales durante la estabulación.

**Tabla 6.6 Energía metabolizable (GJ) utilizada durante la estabulación en los lotes de 50 vacas simulados con parto de primavera**

Alternativa	Energía metabolizable (GJ)	Subnutrición	Reducción coste (ptas) alimentación invernal por vaca <sup>a</sup>
PR <sub>CONTROL</sub>	835	--	--
PR <sub>BAJO1</sub>	776	7%	1903
PR <sub>BAJO2</sub>	807	4%	957

<sup>a</sup>Teniendo en cuenta un alimento tipo unifeed de 10 MJ EM/kg a 16.5 ptas/kg

Los resultados de los lotes simulados para la paridera de primavera se presentan en la Tabla 6.7.

La subnutrición impuesta en el preparto en el lote PR<sub>BAJO1</sub> condujo a grandes pérdidas de reservas corporales, teniendo este lote algunas vacas, las de condición corporal más baja y con fechas de parto más tardías, que no cubrieron sus necesidades de mantenimiento durante un periodo prolongado de tiempo. El modelo consideraba que, en estos casos, la vaca debía salir del lote. Dos de las cincuenta vacas cumplieron esas condiciones en el lote PR<sub>BAJO1</sub> y por tanto los datos finales del lote corresponden a 48 vacas.

El lote PR<sub>CONTROL</sub> mantiene en media la condición corporal hasta el parto ( $2.24 \pm 0.03$ ) y durante la lactación, siendo su condición corporal en el momento de la subida a puerto de  $2.25 \pm 0.05$  (con una pequeña pérdida de peso vivo vacío en la estabulación de  $-3 \pm 3.3$  kg). Los lotes bajos (PR<sub>BAJO1</sub> y PR<sub>BAJO2</sub>) llegan al parto con una CC de  $2.04 \pm 0.03$  y  $2.15 \pm 0.03$ , y pese a tener un nivel postparto no restrictivo, acumulan las pérdidas de peso y reservas corporales del preparto y sus condiciones corporales a la salida al pasto son de  $2.08 \pm 0.06$  y  $2.19 \pm 0.06$ , respectivamente.

**Tabla 6.7 Resultados de la simulación de los lotes con parto de primavera. Media del lote (error estándar) <sup>a</sup>**

		Lote simulado <sup>b</sup>		
		PR <sub>CONTROL</sub>	PR <sub>BAJO1</sub>	PR <sub>BAJO2</sub>
Inicio 21/12/99	Número	50	50	50
	Peso vivo (PV, kg)	551 (6.3)	547 (5.2)	545 (6.4)
	PV vacío (kg)	450 (5.9)	443 (5.4)	450 (6.5)
	Condición corporal	2.24 (0.03)	2.22 (0.03)	2.24 (0.03)
Fin 20/6/00	Número	50	48†	50
	Peso vivo (PV, kg)	509 (6.1)	508 (6.9)	505 (6.7)
	PV vacío (kg)	447 (5.6) <sup>x</sup>	429 (6.3) <sup>y</sup>	443 (6.2) <sup>x</sup>
	Condición corporal	2.25 (0.05) <sup>x</sup>	2.08 (0.06) <sup>y</sup>	2.19 (0.06) <sup>xy</sup>
	Peso ternero (kg)	152 (2.3) <sup>x</sup>	144 (3.2) <sup>y</sup>	147 (2.5) <sup>xy</sup>
	Ganancia de peso del ternero (kg/d)	0.96 (0.016)	0.92 (0.021)	0.94 (0.014)
	Variación PV (kg)	-42 (4.5)	-38 (5.8)	-41 (4.9)
	Variación PVV (kg)	-3 (3.3) <sup>x</sup>	-14 (4.4) <sup>y</sup>	-7 (3.9) <sup>xy</sup>
	Variación CC	-0.01 (0.05) <sup>x</sup>	-0.14 (0.06) <sup>y</sup>	-0.06 (0.05) <sup>xy</sup>

<sup>a</sup> En una línea, medias con distintas letras son diferentes ( $p < .05$ ); <sup>b</sup> BAJO1: 20% de subnutrición preparto, BAJO2: 10% de subnutrición preparto (para una descripción detallada de la alternativa simulada ver texto)

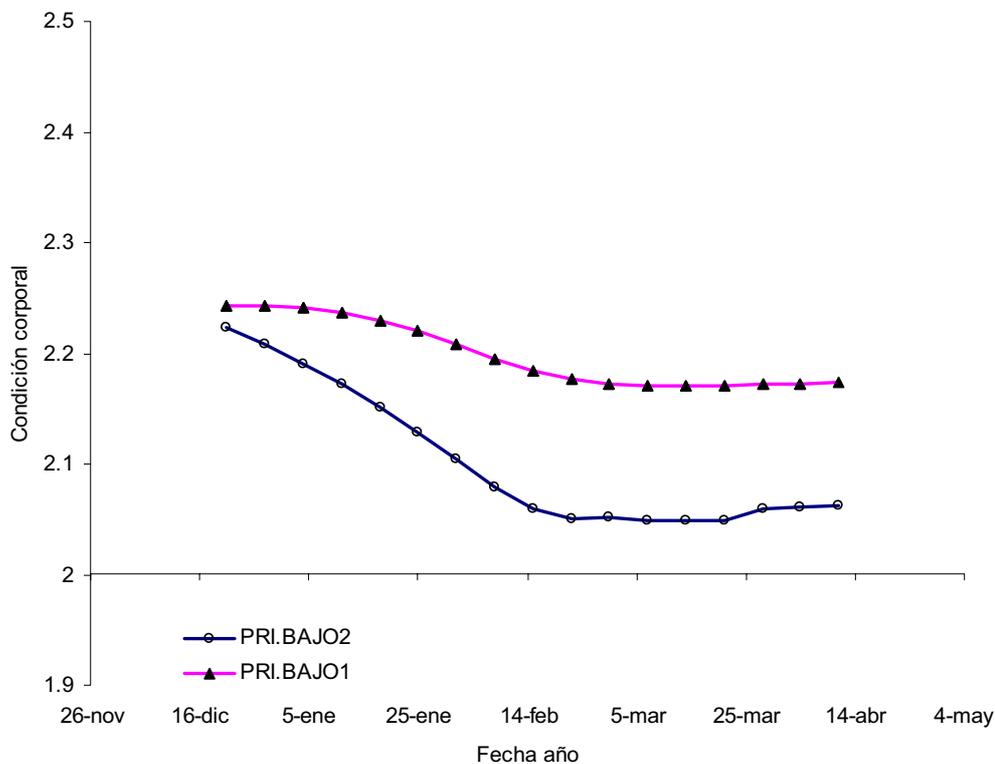
† En este lote 2 vacas fueron eliminadas de la simulación (ver texto)

La mayoría de las variables productivas no presentan diferencias significativas entre el lote PR<sub>CONTROL</sub> y el PR<sub>BAJO2</sub>. El lote PR<sub>BAJO1</sub>, con una subnutrición más severa en preparto, presenta diferencias con el lote control (ver Tabla 6.7), no existiendo, sin embargo, diferencias entre los dos lotes bajos de primavera.

El peso de los terneros al final de la estabulación se ve afectado por la subnutrición preparto de las madres en el lote PR<sub>BAJO1</sub>. La producción media de leche de este lote es 330 MJ EN/vaca inferior a la producción del lote PR<sub>CONTROL</sub>. Aún así la ganancia media de los terneros es igual para los tres lotes simulados en primavera, debido a que, en la simulación del lote PR<sub>CONTROL</sub>, la edad de los terneros en la salida al pasto es 4 días mayor que la de los dos lotes bajos.

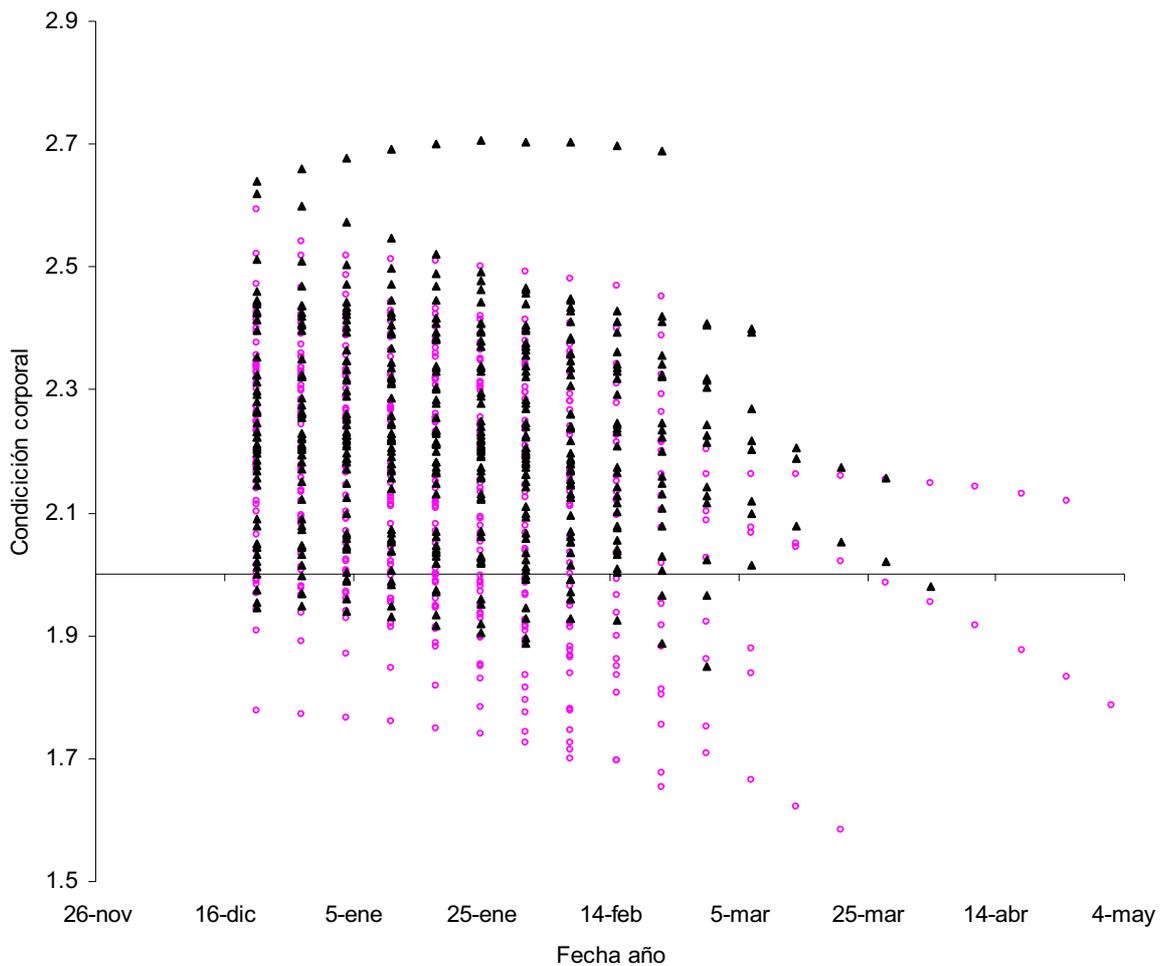
El número de vacas gestantes al final del periodo simulado es de 42 (84%) en el caso del lote con una subnutrición del 20 % durante el preparto, mientras que el lote subnutrido al 10 % presenta, en el mismo momento, 5 vacas no gestantes.

**Figura 6.4 Evolución durante el preparto de la condición corporal media de los dos lotes bajos simulados con parto de primavera**



Los resultados productivos y reproductivos muestran la utilidad de la simulación de los animales de forma individual. En la Figura 6.4 se puede observar la evolución durante el parto de la CC media de los dos lotes subnutridos. En ningún momento se supera el umbral impuesto por el modelo para afectar de forma importante a la reproducción o a la viabilidad de la vaca (2 puntos de condición corporal). En cambio, si se representan los valores de condición corporal de todas las vacas que forman los lotes subnutridos (Figura 6.5), se puede observar que una gran parte de los animales han descendido del umbral de 2 puntos de condición corporal. En esas condiciones, algunos de esos animales han sufrido consecuencias sobre su reproducción (vacas no gestantes) o viabilidad (vaca eliminada del modelo).

**Figura 6.5 Condiciones corporales durante el parto de las vacas de los lotes simulados PRI<sub>BAJO1</sub> (○) y PRI<sub>BAJO2</sub> (▲)**



## 6.4 DISCUSIÓN

### 6.4.2 El Modelo utilizado

Las respuestas productivas a la subnutrición obtenidas por el modelo son acorde con las observadas en experimentos de alimentación restringida realizadas en vacas de raza Parda Alpina (Blasco et al., 1992; San Juan, 1993; Casasús et al., 1997; Sanz, 2000).

Tal como proponen los diferentes autores que abogan por la simulación estocástica (Oldham y Emmans, 1990; Fergurson et al., 1997), la respuesta media del lote simulado estocásticamente no ha sido equivalente a la respuesta de una simulación determinista (un animal con las características medias del lote).

Tanto las predicciones de la varianza de la respuesta productiva, muy útil para estudiar como los efectos sobre el animal se expresan a nivel de rebaño (Sorensen et al, 1992), como las diferencias observadas entre la simulación estocástica y la determinista, justifican la conveniencia de la utilización del modelo estocástico que tiene en cuenta la variabilidad individual de los animales del lote simulado.

En este punto, el modelo estocástico definido es útil como herramienta para el planteamiento de diseños experimentales que permitan comprobar hipótesis sobre el funcionamiento técnico de los sistemas de producción de vacas nodrizas.

La componente reproductiva del modelo solo refleja en parte los efectos de la subnutrición sobre la reproducción de la vaca. Algunos de los valores simulados, como la fertilidad de los lotes de primavera, están lejos de los obtenidos en experimentos de subnutrición realizados en vacas de raza Parda Alpina (Blasco, 1991; San Juan, 1993; Sanz, 2000).

La validación del modelo realizada en el capítulo 5 tenía en cuenta básicamente la

componente productiva, de forma que es esperable una buena adecuación de los resultados productivos simulados a la realidad. En cambio los parámetros reproductivos del modelo se han derivado de experimentos que, en muchos casos, se situaron fuera del rango de condición corporal de las simulaciones realizadas. Sería necesario profundizar y validar la componente reproductiva del modelo, sobre todo en un rango mayor de condiciones corporales.

#### **6.4.2 Estrategias de subnutrición en la paridera de otoño**

Las simulaciones efectuadas permiten afirmar la posibilidad de subnutrición invernal de las vacas con parto de otoño, independientemente de la estrategia de restricción planteada, gracias al elevado nivel de reservas corporales con que llegan los animales al momento de la estabulación.

La subnutrición efectuada en los tres lotes bajos de otoño sólo puede ser considerada, desde el punto de vista técnico y económico, si las vacas son capaces de recuperar en el pastoreo las reservas corporales utilizadas durante la estabulación. Teniendo en cuenta las ecuaciones de regresión entre la ganancia media diaria en establo y la ganancia media en pastoreo de las vacas con parto de otoño obtenidas por Casasús (1998), se puede concluir que incluso las vacas con una mayor pérdida de peso en el establo (-0.75 kg/d) pueden llegar a recuperar, durante la estación de pastoreo, hasta 100 kg.

Recuperaciones de este orden permitirían a la vaca entrar en el establo con un peso similar al del año anterior. Pese a que las recuperaciones de peso en pastoreo de primavera y verano dependen del año (por efecto de la climatología sobre la producción vegetal), su variabilidad en vacas de parto de otoño es baja (Villalba et al., 1995; Casasús, 1998) y compatible con la subnutrición planteada en estas simulaciones.

La subnutrición durante el postparto de los lotes OT<sub>BAJO1</sub>, OT<sub>BAJO2</sub> y OT<sub>BAJO3</sub> afecta principalmente a la producción lechera y, dado que no se considera la suplementación directa a los terneros, afecta también a su crecimiento. Las vacas consiguen compensar a partir de las reservas corporales parte de la energía no aportada por la dieta. Entre un 24% y un 38% de la leche de los lotes bajos fue producido a partir de las reservas corporales, resultados elevados y posibles gracias a la buena condición corporal con la que llegan las vacas al establo, pero aún por

debajo de los obtenidos por otros autores con subnutriciones más severas (Somerville et al., 1983; Casasús et al., 1997).

En el caso del lote OT<sub>BAJO3</sub>, que es sometido a una restricción transitoria de la alimentación durante la primera fase de la lactación, el modelo predice una recuperación de la producción lechera del lote al acabar la subnutrición, comparable a los resultados de otros estudios (Coulon et al., 1986; Villalba et al., 1997).

Según los resultados del lote OT<sub>BAJO3</sub>, un alargamiento del pastoreo de los animales de parto de otoño durante el otoño se podría asumir, desde el punto de vista de los resultados productivos, si las vacas pueden obtener del pasto una media de 66 MJ de EM/vaca y día hasta el 15 de diciembre. Aún así, debe tomarse en consideración el alargamiento de la paridera que se produce en la simulación y sus efectos acumulativos sobre los resultados reproductivos del lote. También debería analizarse la viabilidad de terneros muy jóvenes en las condiciones de pastoreo durante el otoño.

El efecto de la subnutrición de las madres sobre los terneros no solo produce un peso al destete inferior, también produce un incremento de la variabilidad en los rendimientos de los terneros en los lotes restringidos. Teniendo en cuenta que en muchos casos la venta del ternero al destete en las explotaciones del Pirineo se efectúa en lote, y uno de los aspectos valorados por el comprador además del peso medio es la homogeneidad del lote, el efecto de la subnutrición de las madres sobre el rendimiento económico del lote puede ser aún mayor. Una suplementación directa del ternero puede compensar la subnutrición de la vaca, pero es necesario analizar económicamente dicha posibilidad teniendo en cuenta aspectos como el coste de la suplementación o su conveniencia en un marco en el que el ganadero de vacas nodrizas efectúa el mismo el engorde de los terneros hasta el momento del sacrificio.

En las condiciones iniciales del lote ninguna de las estrategias de alimentación durante la estabulación condiciona los resultados reproductivos del lote. Incluso lotes con pérdidas medias de 400 g/d durante la lactación obtienen buenos resultados reproductivos. El único efecto observado, un retraso de la fecha de cubrición de los lotes OT<sub>BAJO2</sub> y OT<sub>BAJO3</sub>, podría afectar a los resultados reproductivos en los siguientes años por un efecto acumulativo, si se mantiene la subnutrición invernal y el periodo de cubriciones fijo.

Los parámetros reproductivos introducidos en el modelo (ver capítulo 5) hacen que el estado de reservas al parto sea el factor principal que determina la duración del anoestro postparto, siendo la alimentación postparto un efecto modulador, siguiendo los resultados obtenidos en vacas nodrizas (Wiltbank et al., 1962; Dunn et al., 1969; San Juan, 1993; Sanz et al., 1997). El rango de condición corporal de entrada en establo de las vacas con parto de otoño permite a las vacas sometidas a subnutrición un anoestro compatible con un alto porcentaje de gestación al final del periodo de cubriciones. Resultados similares han sido descritos por Osoro y Wright (1992) en vacas de la misma condición corporal.

#### ***6.4.3 Estrategias de subnutrición en la paridera de primavera***

En función de su fecha de parto, las vacas con parto de primavera pueden aprovechar los pastos de fondo de valle durante el otoño, siendo su estabulación muy tardía. Por otro lado, durante la primavera, y dependiendo de las condiciones de cada explotación, las vacas pueden salir al pasto entre finales de marzo y principios de junio. Este manejo lleva, por un lado, a que el periodo preparto de las vacas con parto de primavera sea el único momento de la estabulación que permite una gestión importante de las reservas corporales. Por otro lado, en las condiciones del Pirineo Central las vacas con parto de primavera llegan a la estabulación con un estado de reservas bajo.

Las dos alternativas de subnutrición durante el preparto son, por tanto, el compromiso entre una política de restricción durante la invernada y el mantenimiento de los animales. En simulaciones con mayor subnutrición media del lote, se ha observado que existían un gran número de vacas sometidas a subnutrición extrema y que fueron eliminadas del modelo, cosa que impedía su consideración.

El ahorro económico de las estrategias propuestas es pequeño, y pese a efectuar una subnutrición muy ligera existen efectos sobre la reproducción de las vacas. Además en la mayoría de las variables los dos lotes subnutridos simulados están solapados debido a la poca diferencia entre las dos estrategias.

Esta situación demuestra la escasa "flexibilidad" del parto de primavera durante la estabulación. Debido a la baja condición corporal media, y a su variabilidad, parece

que la invernada en la paridera de primavera se debe considerar como un periodo de mantenimiento e incluso recuperación de las reservas corporales de las vacas.

Si se analizan los dos lotes subnutridos como una primera aproximación a un intento del alargamiento del pastoreo durante el invierno, tanto la propuesta de subnutrición del lote PR-BAJO1 como la del PR-BAJO2 tiene repercusiones reproductivas. Los efectos negativos de subnutriciones de ese orden sobre la reproducción podrían condicionar el alargamiento del periodo de pastoreo de las vacas de parto de primavera más allá del mes de diciembre. Un preparto dependiente del pasto, que en esas épocas es escaso y de mala calidad, puede tener consecuencias muy negativas sobre el rendimiento del lote si no se plantea una suplementación con forrajes. Ferrer et al. (1998) observaron un incremento del intervalo entre partos en vacas con parto en primavera que alargaron su pastoreo en zonas boscosas del Pirineo hasta un mes antes del parto.

Pese a las bajas condiciones corporales al parto de los lotes subnutridos en preparto no parece haber ningún efecto sobre los rendimientos posteriores de los terneros. Otros estudios con condiciones corporales bajas al parto, aunque superiores a las obtenidas en la simulación, tampoco obtienen efecto sobre los rendimientos de los terneros (Sinclair et al., 1994; Sanz et al., 1997).

Existen dos aspectos relacionados con la nutrición preparto y el rendimiento de los terneros que no están recogidos en el modelo pero que merecen atención.

En primer lugar si existe algún nivel de reservas a partir del cual la vaca cambie las prioridades de cobertura de necesidades, y que haga que la recuperación de reservas se produzca a costa de reducir la producción de leche. También es posible que ese nivel de reservas varíen entre genotipos, como puede indicar la diferente respuesta al pastoreo en praderas de alto valor nutritivo observado entre vacas en lactación de raza Parda Alpina y Pirenaicas (Villalba et al., 1997).

En segundo lugar, el peso al nacimiento del ternero se puede ver afectado por una subnutrición severa durante el último tercio de gestación al afectar al crecimiento fetal (Agabriel et al., 1987; Spitzer et al., 1995). Esta disminución del peso al nacimiento podría afectar a la viabilidad de los terneros y reducir el peso al destete de los hijos de vacas subnutridas durante el preparto.

Todos los lotes de vacas con parto en primavera han sido alimentados durante la lactación según las necesidades calculadas a partir de los datos medios del lote y de la producción de leche media. Aunque la variación de peso media de todos los lotes durante la lactación es pequeña, existen animales de los lotes subnutridos en preparto con pérdidas de peso máximas de 0.65 kg/día acumuladas entre el preparto y el postparto. A partir de las ecuaciones de regresión entre la ganancia media diaria en establo y la ganancia media en pastoreo de las vacas con parto de primavera obtenidas por Casasús (1998), la recuperación esperable de vacas con pérdidas de ese tipo es de 35 kg durante todo el pastoreo. Si se tiene en cuenta que la recuperación de peso en pastoreo de las vacas con parto en primavera es muy variable con el año (Villalba et al., 1995; Casasús, 1998) es posible que muchas de las vacas con parto en primavera sometidas a subnutrición durante el preparto no consigan volver a entrar en establo habiendo recuperado todas las reservas que han perdido en la invernada anterior.

#### **6.4.4 Comparación paridera de otoño y de primavera**

Pese a que la decisión sobre la paridera a utilizar depende no sólo de los aspectos técnicos expuestos en este capítulo y a que en muchos casos la decisión no es única, sino que consiste en una combinación de las dos opciones, desde el punto de vista del manejo durante la invernada es posible comentar lo siguiente:

La paridera de otoño permite una flexibilidad mayor la gestión de las reservas corporales durante la invernada y la aplicación de la subnutrición para la reducción de los costes, aunque tiene como inconveniente una estabulación obligada de mayor duración.

La paridera de primavera permite un periodo de pastoreo superior a la de otoño, pero aunque en otras zonas la abundancia y calidad del pasto permite una restricción de la alimentación durante la estabulación (D'Hour et al., 1999), en el Pirineo Central las recuperaciones de peso en pastoreo, variables y no aseguradas todos los años, condicionan una subnutrición invernal. La paridera de primavera se muestra así como un esquema más rígido, donde la subnutrición se debe efectuar con cautela, e incluso no es viable en función de los rendimientos en el pastoreo anterior.

Esto conduce a una doble consideración de la estrategia de alimentación invernal:

- a) En la paridera de otoño el manejo alimenticio durante la estabulación debe tender a "tamponar" los resultados del pastoreo de verano. La estabulación se convierte en un periodo de gestión de las reservas corporales, que lleve a los animales a un estado en el que aprovechen al máximo las posibilidades de los pastos de primavera, con la reducción de costes que conlleva.
- b) En la paridera de primavera se deben considerar más ampliamente las alternativas de aprovechamiento de las praderas de primavera por vacas lactantes para reducir la estabulación. La duración de este pastoreo puede implicar la necesidad de una suplementación durante el pastoreo bien a las vacas o bien a los terneros directamente.

Otra posibilidad a tener en cuenta es concentrar la paridera de primavera entre enero y febrero, lo que se traduce en un acercamiento de las condiciones de una hipotética paridera de invierno-primavera a la paridera de otoño

## 6.5 CONSIDERACIONES SOBRE EL MODELO

De la construcción del modelo, y de su utilización en este capítulo para la simulación de alternativas de alimentación invernal se pueden extraer las siguientes implicaciones:

- i) El modelo presentado plantea una serie de hipótesis sobre el funcionamiento de los sistemas de producción de vacas nodrizas, que para su comprobación y validación implican un mayor conocimiento sobre la nutrición energética de las vacas nodrizas. El valor energético de las reservas corporales, su forma de utilización, y su variabilidad individual, así como la eficiencia de utilización de la energía metabolizable para mantenimiento y producción, son aspectos que requieren una mayor investigación en las razas explotadas en nuestras zonas.

ii) La extensión del modelo para el estudio de estrategias de manejo en que se incluya la suplementación del ternero y para la simulación de periodos de pastoreo, implica la obtención de información sobre la capacidad de ingestión por parte del ternero (tanto de pienso como de hierba), y la estimación del potencial de ingestión de diferentes genotipos, en diferentes condiciones fisiológicas y de alimentación. Además, para su inclusión en un modelo estocástico es necesario estimar también la variabilidad individual de la ingestión, tanto de terneros como de vacas, aspectos poco tratados en nuestras razas.

iii) La extensión del modelo presentado hacia un modelo de ayuda a la decisión técnico-económica, pasa por la interacción del actual módulo de producción del rebaño, con un módulo socio-económico y uno de producción de forrajes. El modelo resultante permitiría una simulación integral del sistema de producción de vacas nodrizas.



## **7. CONCLUSIONES GENERALES**

---



## 7. CONCLUSIONES GENERALES

A partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores pueden extraerse las siguientes conclusiones generales:

1. Las necesidades de mantenimiento estimadas para las vacas de raza Parda Alpina son de  $0.55 \text{ MJ EN/kg PVV}^{0.67}$ , o expresados en forma de energía metabolizable,  $473 \text{ kJ EM/kg PV}^{0.75}$ , valores acordes con los resultados obtenidos en otras razas de tipo cárnico. La variabilidad individual del parámetro estimado es grande (la varianza del parámetro individual es de 0.015, con un coeficiente de variación del 22%), aunque es posible que incluya la variabilidad de otros parámetros como el valor de las reservas corporales y la eficiencia de aprovechamiento de la energía.
2. Las pautas de crecimiento predestete de los terneros de raza Parda Alpina y Pirenaica se ajustan bien a un modelo cuadrático, aunque la no linealidad del crecimiento se debe atribuir a los efectos ambientales sobre la producción de leche de la madre. Con sólo dos coeficientes de regresión aleatorios (ordenada en el origen y coeficiente lineal) se puede representar la variabilidad individual en el peso de los terneros. La varianza de la ordenada en el origen de las dos razas es 57.62 y 32.19 para Parda Alpina y Pirenaica, respectivamente. La varianza del coeficiente lineal es 0.0141 y 0.0205 para Parda Alpina y Pirenaica, respectivamente. La correlación entre ambos parámetros depende de la raza y la época de parto.
3. Las estimaciones de la variación individual de los parámetros que describen las pautas de crecimiento predestete y de las necesidades de mantenimiento justifican su utilización en un modelo estocástico para simular los rendimientos de rebaños de vacas nodrizas en el Pirineo.
4. La utilización de un modelo estocástico permite simular lotes complejos sometidos a diferentes pautas de alimentación y de manejo reproductivo, y obtener resultados sobre los rendimientos medios y la variabilidad de la

respuesta del lote. La validación del modelo, efectuada a partir de datos reales, permite afirmar la adecuación del modelo estocástico construido a la hora de predecir la respuesta media del lote (el coeficiente de determinación del ajuste entre los pesos observados y los predichos se sitúa entre 0.72 y 0.92 en 9 de los 10 lotes que se utilizaron para la validación). La mayor variabilidad de la respuesta simulada en comparación con la observada hace necesario un mayor esfuerzo en la obtención de la variabilidad individual de parámetros como el valor de las reservas corporales y las eficiencias de utilización de la energía.

5. Las estrategias simuladas indican que las posibilidades de subnutrición durante la internada son limitadas en vacas con parto de primavera. Pese a no someter a los animales a una subnutrición importante (solo entre un 4 y un 7% de las necesidades energéticas en el establo) se observan efectos importantes sobre la viabilidad de las vacas y sobre la reproducción del rebaño.
6. Las estrategias simuladas para la paridera de otoño, con subnutriciones entre el 16 y el 24 % de las necesidades energéticas durante la estabulación, muestran la posibilidad de subnutrición durante el postparto. Las tres alternativas de subnutrición planteadas, durante toda la estabulación, en los dos tercios finales de la lactación, y la provocada por un alargamiento del pastoreo, no condicionan la reproducción del rebaño y afectan básicamente al peso al destete del ternero.
7. El modelo construido puede ser considerado como útil para el estudio de estrategias de alimentación durante la estabulación. Sin embargo, existen gran número de extensiones del modelo que, para poder ser abordadas, deben implicar un mayor esfuerzo en la profundización del conocimiento de aspectos básicos de la nutrición, la reproducción y el manejo de rebaños de vacas nodrizas explotadas en las condiciones del Pirineo, o de otras zonas de montaña.

## **8. RESUMEN Y SUMMARY**

---



---

## RESUMEN

En la presente Tesis se ha construido un modelo informático para la simulación estocástica de rebaños de vacas nodrizas. El modelo ha sido validado con datos reales y utilizado para la simulación de estrategias de manejo invernal en rebaños de vacas nodrizas explotadas en las condiciones de montaña del Pirineo.

Para la construcción del modelo se ha descrito un submodelo de repartición de la energía aportada por la dieta. Este submodelo ha sido utilizado para la estimación de la energía neta para mantenimiento y de la variabilidad individual de dicho parámetro en vacas de raza Parda Alpina. Para ello se utilizaron los datos individuales, productivos y de manejo nutricional, de 34 vacas en lactación y 40 vacas en gestación. El valor estimado para las necesidades de mantenimiento fue de 0.55 MJ EN/kg PVV<sup>0.67</sup> y mostró una gran variabilidad entre individuos (la varianza del parámetro fue 0.015).

Utilizando un modelo lineal con coeficientes aleatorios, se analizaron los pesos de 318 terneros (4476 registros de peso) de raza Parda Alpina y Pirenaica, con el fin de estimar las pautas de crecimiento y variabilidad individual de los parámetros que definen las curvas de crecimiento predestete. El crecimiento de los terneros se puede describir con una aproximación cuadrática (se comprobó que la utilización de una aproximación lineal para la obtención de pesos estandarizados puede conducir a sesgos importantes). Existe, por otro lado, una gran variabilidad individual en los pesos predestete de los terneros, que el modelo tiene en cuenta con un peso al nacimiento y una ganancia media diaria variables entre animales. La variabilidad estimada es suficiente como para considerar su utilización en un modelo estocástico.

Las estimas sobre la variabilidad de la energía de mantenimiento de las vacas adultas, del peso al nacimiento y de la ganancia diaria de los terneros, fueron utilizadas en un modelo estocástico de simulación de lotes de animales sometidos a un manejo nutricional y reproductivo concreto. Dicho modelo fue validado utilizando los resultados productivos de 10 lotes de entre 12 y 17 vacas. La validación del modelo propuesto permite afirmar su adecuación a la hora de simular la media y la variabilidad de la respuesta productiva a lo largo de un periodo de tiempo largo de un lote de vacas y terneros con alimentación restringida.

Por último el modelo fue utilizado para la simulación de diferentes alternativas de subnutrición invernal en lotes de vacas con partos de primavera o con partos de otoño. En las condiciones de estabulación utilizadas en las simulaciones, la paridera de otoño ha mostrado la posibilidad de subnutrición durante el postparto. Por el contrario, los resultados de la paridera primavera indican que las posibilidades de subnutrición durante la invernada son limitadas.

## SUMMARY

A computer model was developed in order to make stochastic simulation of suckler cows herds. The model has been validated using actual data and was used for simulation of winter management strategies of suckler cow herds in mountain conditions.

A submodel for the diet energy distribution has been described as a part of the model. This submodel has been used for estimating the net energy for maintenance and the individual variability of that parameter in Parda Alpina cows. Productive and nutritional management individual data from 34 lactating and 40 pregnant cows have been used. The maintenance requirements estimated value was  $0.55 \text{ MJ NE/kg EBW}^{0.67}$  and it showed a high variability between animals.

Data from 318 Parda Alpina and Pirenaica calves (4476 weight records) were analysed using a lineal model with random coefficients in order to estimate the growth pattern and the individual variability of the preweaning curve parameters. Preweaning calf growth could be described using a quadratic approximation and the use of a lineal approximation for obtaining corrected weight can lead to important biases. There is, in addition, a very high individual variability in calves preweaning weights. It was introduced in the model allowing a between animal variable birth weight and average daily gain. The estimated variability was enough to take it into account in a stochastic model.

Variability estimations of adult cows maintenance requirements, birth weight and average daily gain, were used in a stochastic model for complex animal groups simulation under a certain nutritional and reproductive management. The model was validated using actual productive performance from 10 groups of animals (between 12 to 17 cows per group). Validation of the proposed model confirm that it is useful for simulating the mean and variance of long term productive response of a cows and calves group under a restricted alimentation.

Finally, the model was used for simulating the effect of some winter subnutrition strategies in cows calving either in spring or autumn. In the conditions of simulation, autumn calving cows showed the possibility of subnutrition during postpartum period. On the other side, results from spring calving cows showed that winter subnutrition in that case are limited.



## **9. BIBLIOGRAFÍA**

---



---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- A.F.R.C.** (1990) AFRC Technical Committee on responses to nutrients, Report Number 5, Nutritive Requirements of Ruminant Animals: Energy. *Nutr. Abst. Rev. (Series B)* 60(10): 729-804.
- A.R.C.** (1980) The nutrient requirements of ruminant livestock. Farnham Royal, U.K. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Agabriel, J. y M. Petit** (1987) Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.* 70: 153-166.
- Alberti, P., Sañudo, C., Olleta, J. L., Lahoz, F., Campo, M. M., Panea, B. y J. Franco** (1998) Carcass composition and commercial cuts of yearlings of several beef breeds with different biological types. *Proc. 44th Int. Cong. of Meat Sci. and Tech.*: 270-271.
- Alderman, G., Broster, W. H., Strickland, M. J. y C.L. Johnson** (1982) The energy value of liveweight change in the lactating dairy cow. 32<sup>nd</sup> Annual Meeting, European Association for Animal Production. 1981, V-16
- Altarriba, J., García-Cortés, A., Moreno, C. y L. Varona** (1996) Situación y perspectivas de la mejora genética de la raza vacuna pirenaica. *I.T.E.A.* 92A(3): 107-116.
- Andersen, S. y B. Pedersen** (1996) Growth and food intake curves for group-housed gilts and castrated male pigs. *Anim. Sci.* 63: 457-464.
- Ansotegui, R. P., Havstad, K. M. , Wallace, J. D. y D. M. Hallford** (1991) Effects of milk intake on forage intake and performance of suckling range calves. *J. Anim. Sci.* 69(3): 899-904.
- Arnold, R. N. y G. L. Bennett** (1991) Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: part 2-simulation and comparison with experimental growth data. *Agric. Sys.* 36(1): 17-41.
- Azzam, S. M. y A. M. Azzam** (1991) A Markovian decision model for beef cattle replacement that considers spring and fall calving. *J. Anim. Sci.* 69(6): 2329-2341.
- Azzam, S. M. y A. M. Azzam** (1994) A network model that determines the optimal path of breed-crossing decisions to maximize net returns. *Agric. Sys.* 45(2): 145-154.
- Azzam, S. M., Kinder, J. E. y M. K. Nielsen** (1990) Modelling reproductive management systems for beff cattle. *Agric. Sys.* 34: 103-122.

- Baker, R. D., Le Du, Y. L. P. y J. M. Barker** (1976) Milk-fed calves. The effect of milk intake upon the herbage intake and performance of grazing calves. *J. Agric. Sci. Camb.* 90: 31-38.
- Baldwin, R.L.** (1976) Principles of modelling animal systems. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production.* 36:128-139
- Baldwin, R. L., France, J. y J. Gill** (1987) Metabolism of the lactating cow. I. Animal elements of a mechanistic model. *J. Dairy Sci.* 54(1): 77-105.
- Bebin, D., Lherm, M. y G. Lienard** (1995) Extensification with contract ? *Fourrages* 142: 107-130.
- Bernues, A., Herrero, M. y B. Dent** (1995) El estudio de los sistemas ganaderos mediante simulación: una revisión de los modelos de ovino a nivel del animal individual, del rebaño y de la explotación. *Invest. Agr. Prod. Sanid. Anim.* 10(3): 243-272.
- BIF** (1986) Beef Improvement Federation. Guidelines for uniform beef improvement programs. Raleigh, North Carolina State Univ.
- Black, J. L.** (1995a) Approaches to modelling. Modelling-growth-in-the-pig. *EAAP Publication No. 78.* (Ed) P. J. Moughan, M. W. A. Verstegen y M. I. Visser-Reyneveld. Wageningen, Wageningen Pers: 11-22.
- Black, J. L.** (1995b) The evolution of animal growth models. Modelling-growth-in-the-pig. *EAAP Publication No. 78.* (Ed) P. J. Moughan, M. W. A. Verstegen y M. I. Visser-Reyneveld. Wageningen, Wageningen Pers: 3-10.
- Blasco, I.** (1991) Influencia de diversos factores de explotación sobre las características reproductivas del periodo posparto en ganado vacuno de montaña. Tesis doctoral. Departamento de Patología Animal. Universidad de Zaragoza. 163 págs.
- Blasco, I. y R. Revilla.** (1991) Duración del anoestro posparto en vacas de raza Parda Alpina: efecto del nivel de alimentación durante la lactación. *I.T.E.A.* Vol. Extra, nº11: 106-108.
- Blasco, I., Revilla, R. y L. San Juan** (1992) Alimentación invernal y reproducción en vacuno de montaña. *Bovis* 46: 67-97.
- Boggess, M. V., Wilson, D. E., Rothschild, M. F. y D. G. Morrical** (1991) National sheep improvement program: age adjustment of weaning weight. *J. Anim. Sci.* 69(8): 3190-3201.
- Bolton, R. C., Frahm, R. R., Castree, J. W. y S. W. Coleman** (1987) Genotype x Environment interactions involving proportion of Brahman breeding and season of birth. I. Calf growth to weaning. *J. Anim. Sci.* 1987 65: 42-47.

- Bourdon, R. M. y J. S. Brinks** (1987) Simulated efficiency of range beef production. I. Growth and Milk Production. *J. Anim. Sci.* 65: 943-955.
- Brinks, J. S., Clark, R. T., Kieffer, N. M. y J. R. Quesenberry** (1962) Genetic and environmental factors affecting performance traits of hereford bulls. *J. Anim. Sci.* 21(4): 777-780.
- Broadbent, P. J., Topps, J. H., Clark, J. J. y J. M. Bruce** (1984) Evaluation of a model of the energy system of lactating and pregnant cows. *Anim. Prod.* 38: 363-375.
- Bruce, J. M., Broadbent, P. J. y J. H. Topps** (1984) A Model of the Energy system of lactating and pregnant cows. *Anim. Prod.* 38: 351-362.
- Burks, T. F., Turner, L. W., Crist, W. L., Taraba, J. L. y R. S. Gates** (1989) PARSIM: a stochastic simulation model for determining cow throughput and labor utilization in dairy parlors. *Paper American Society of Agricultural Engineers*: 89-7036.
- Butson, S., Berg, R. T. y R. T. Hardin** (1980) Factors influencing weaning weights of range beef and dairy-beef calves. *Can. J. Anim. Sci.* 60: 727-742.
- Buttazzoni, L. y I. L. Mao** (1989) Genetic parameters of estimated net energy efficiencies for milk production, maintenance, and body weight change in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72(3): 671-677.
- Casasús, I.** (1998) Contribución al estudio de los sistemas de producción de ganado vacuno en zonas de montaña: Efecto de la raza y de la época de parto sobre la ingestión voluntaria de forrajes y los rendimientos en pastoreo. Tesis doctoral. Zaragoza, Universidad de Zaragoza. 215 págs.
- Casasús, I., Ferrer, R., Sanz, A., Villalba, D. y R. Revilla** (1996) Consequences de l'allongement de la période de pâturage en montagne sur les performances du troupeau allaitant: Bilan annuel. *3èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris. 104.
- Casasús, I., Ferrer, R., Sanz, A., Villalba, D. y R. Revilla** (1998) Cattle and sheep performance during summer grazing on high mountain ranges in extensive production systems. En Effect of extensification on animal performance, carcass composition and and product quality. (Ed) L. O. Fiems y S. D. Campeneere. Gent: 157-170.
- Casasús, I., Sanz, A., Villalba, D., Ferrer, R. y R. Revilla** (1997) Influencia del plano de alimentación durante la lactación sobre los rendimientos productivos y la movilización de reservas en vacas de cría. *I.T.E.A. Vol. Extra* 18(1): 73-75.
- Chilliard, Y., Remond, V., Agabriel, J., Robellin, J. y R. Verité** (1987) Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.* 70: 117-131.

- Coulon, J. B., Garel, J. P. y A. Hoden** (1986) Evolution de la production et de la composition du lait à la mise à l'herbe. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.* 66: 23-29.
- Davis, K. C., Tess, M. W., Kress, D. D., Doornbos, D. E. y D. C. Anderson** (1994) Life cycle evaluation of five biological types of beef cattle in a cow-calf range production system. I. Model development. *J. Anim. Sci.* 72(10): 2585-2598.
- Dent, J. B., Edwards Jones, G. y M. J. McGregor** (1995) Simulation of ecological, social and economic factors in agricultural systems. *Agric. Sys.* 49(4): 337-351.
- D'Hour, P., Revilla, R. y I. A. Wright** (1998) Possible adjustments of suckler herd management to extensive situations. *Productions Animales* 11(5): 379-386.
- Dijkhuizen, A. A.** (1989) Epidemiological and economic evaluation of foot-and-mouth disease control strategies in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 37(1): 1-12.
- Dijkhuizen, A., Stelwagen, A. J. y J. A. Renkema** (1986) A stochastic model for the simulation of management decisions in dairy herds, with special reference to production, reproduction, culling and income. *Preventive Veterinary Medicine* 4(4): 273-289.
- Dunn, T. G., Ingalls, J. E., Zimmerman, D. R. and J. N. Wiltbank** (1969) Reproductive performance of 2-year-old Hereford and Angus heifers as influenced by pre and post-calving energy intake. *J. Anim. Sci.* 29:719
- Elston, D. A. y C. A. Glasbey** (1991) Variability within system models: a case study. *Agric. Sys.* 37: 309-318.
- Elzakker, P. J. M. v., Johan, A. M. y A. M. v. Arendonk** (1993) Feed Intake, body weight and milk production: genetic analysis of different measurements in lactating dairy heifers. *Liv. Prod. Sci.* 37: 37-51.
- Ferguson, N. S., Gous, R. M. y G. C. Emmans** (1997) Predicting the effects of animal variation on growth and food intake in growing pigs using simulation modelling. *Anim. Sci.* 64(3): 513-522.
- Ferrell, C. L. y T. G. Jenkins** (1984) Energy utilization by mature, non-pregnant, non-lactating cows of different types. *J. Anim. Sci.* 58(1): 234-243.
- Ferrer, R., Casasús, I., Sanz, A., Villalba, D. y R. Revilla** (1998) Extensification of beef cattle production in the Spanish Pyrenees: comparison of performances under indoors vs. grazing conditions. En Effect of extensification on animal performance, carcass composition and and product quality. (Ed) L. O. Fiems y S. D. Campeneere. Gent: 205-217.

- France, J. y J. H. M. Thornley** (1984) *Mathematical Models in Agriculture*. London, Butterworths.
- Freer, M., Moore, A. D. y J. R. Donnelly** (1997) GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises-II. The animal biology model for feed intake, production and reproduction and the GrazFeed DSS. *Agric. Sys.* 54(1): 77-126.
- Freking, B. A. y D. M. Marshall** (1992) Interrelationships of heifer milk production and other biological traits with production efficiency to weaning. *J. Anim. Sci.* 70: 646-655.
- Gibon, A.** (1981) *Pratiques d'éleveurs et résultats d'élevage dans les pyrénées centrales*. Thèse Docteur. Institut National Agronomique Paris-Grignon. 106 págs.
- Gibon, A., Sibbald, A.R y C. Thomas** (1999) Improved sustainability in livestock systems, a challenge for animal production science. *Liv. Prod. Sci.* 61:107-110.
- Gill, M., Beever, D. E. y J. France** (1989) Biochemical bases needed for the mathematical representation of whole animal metabolism. *Nutrition Research Reviews* 2: 181-200.
- Goyache, F. M.** (1995) Influencia de efectos sistemáticos sobre los caracteres de importancia económica en la raza asturiana de los valles. Dpto. Producción Animal. Madrid, Universidad Complutense de Madrid: 251.
- Gregory, K. E., Cundiff, L. V., Simth, G. M. Laster, D. B. y H. A. Jr. Fitzhugh** (1978) Characterization of biological types of cattle - cycle II: I. Birth and weaning traits. *J. Anim. Sci.* 47:5: 1022-1030.
- Hammersley J. M. y D. C. Handscomb** (1964) *Monte Carlo methods*. Ed Chapman et Hall. London. 178 págs.
- Hirooka, H. y Y. Yamada** (1987) System analysis of beef cattle growth and production with special reference to biological efficiency. *Japanese Journal od Zootechnical Science* 58:5: 365-373.
- Hohenboken, W. D.** (1985) Maternal effects. *World Animal Science*, Vol.A4. General and Quantitative Genetics. (Ed) A. B. Chapman. Amsterdam, Elsevier: 135-149.
- Hohenboken, W. D., Dudley, A. y D. E. Moody** (1992) A comparison among equations to characterize lactation curves in beef cows. *Anim. Prod.* 55(1): 23-28.
- Holland, M. D. y K. G. Odde** (1992) Factors affecting calf birth weight. *Theriogenology* 38: 769-798.

- Honing, Y. Van Der y A. Steg** (1990) Comparison of energy evaluation systems of feeds for ruminants. En *Feedstuff evaluation*. (Ed) J. Wiseman y D. J. A. Cole London. Butterworths.1-19.
- Hurd, H. S., Kaneene, J. B., Lloyd, J. W. y S. B. Harsh** (1995) Application of a stochastic distributed delay simulation model to financial analysis of respiratory disease in Michigan dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine* 24(2): 117-128.
- I.N.R.A.** (1978) *Alimentation des Ruminants*. (Ed) R.Jarrige. INRA Publications. Versailles.
- Ingrand, S.** (1999). *Constitution des lots de vaches dans les élevages allaitants. Effets de l'hétérogénéité des besoins nutritionnels sur le niveau d'ingestion et le comportement alimentaire*. 258 pags. Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- Ingrand, S. y J. Agabriel** (1997) Typology of the evolution of intake by Charolais cows around calving. *Anim. Sci.* 65(3): 361-371.
- Innocent, G., Morrison, I., Brownlie, J. y G. Gettinby** (1997) The use of a mass-action model to validate the output from a stochastic simulation model of bovine viral diarrhoea virus spread in a closed dairy herd. *Preventive Veterinary Medicine* 31: 3-4.
- Jalvingh, A. W., Dijkhuizen, A. A., Arendonk, J. A. M. v. y J. A. M. Van Arendonk** (1992) Dynamic probabilistic modelling of reproduction and replacement management in sow herds. General aspects and model description. *Agric. Sys.* 39(2): 133-152.
- Jamrozik, J. y L. R. Schaeffer** (1997) Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for yield traits of first lactation Holsteins. *J. Dairy Sci.* 80(4): 762-770.
- Jenkins, T. G., y C. L. Ferrell** (1992) Lactation characteristics of nine breeds of cattle fed various quantities of dietary energy. *J. Anim. Sci.* 70(6): 1652-1660
- Johnson, M. H. y D. R. Notter** (1987) Simulation of genetic control of reproduction in beef cows. 1. Simulation model. *J. Anim. Sci.* 65(1): 68-75.
- Jorgensen, E.** (1998) *Stochastic modelling of Pig Production. Working paper: Growth models. Dina Notat 73*. Tjele, Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Kahn, H. E. y C. R. W. Spedding** (1983) A dynamic model for the simulation of cattle herd production systems: 1- General Description and Effects of Simulation Techniques on Model Results. *Agric. Sys.* 12: 101-111.

- Keele, J. W., Williams, C. B. y G. L. Bennett** (1992) A computer model to predict the effects of level of nutrition on composition of empty body gain in beef cattle. I Theory and development. *J. Anim. Sci.* 70: 841-857.
- Keller, D. S., Quinton, M. y C. Smith** (1990) A comparison of deterministic versus stochastic modelling of closed nucleus breeding schemes for beef cattle. *Proceedings of the 4th World Congress on Genetics applied to Livestock Production*, Edinburgh.
- Kemeny J. G. y J. L. Snell** (1960) Finite markov chains. Ed. Springer-Verlag. Princeton N.J. 224 págs
- Kirkland, R. M. y F. J. Gordon** (1999) The metabolisable energy requirement for maintenance and the efficiency of use of metabolisable energy for lactation and tissue gain in dairy cows offered a straw/concentrate ration. *Liv. Prod. Sci.* 61:23-31
- Knap, P. W.** (1995) Stochastic simulation of growth in pigs: protein turn-over-dependent relations between body composition and maintenance requirements. *Anim. sci.* 63(3): 549-561.
- Knap, P. W. y H. Jørgensen** (2000) Animal-intrinsic variation in the partitioning of body protein and lipid in growing pigs. *Anim. Sci.* 70:29-37
- Korver, S.** (1988) Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: a review. *Liv. Prod. Sci.* 20(1): 1-13.
- Kristensen, T., Sørensen, J. T. y S. Clausen** (1997) Simulated effect on dairy cow and herd production of different grazing intensities. *Agric. Sys.* 55(1): 123-138.
- Le Neindre, P.** (1973) Observations sur l'estimation de la production laitière de vaches allaitantes per la pessão de veaux avant et après la têtée. *Annales de Zootechnie* 22: 413-422.
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W. y R. D. Wolfinger** (1996) SAS System for Mixed Models. Cary, NC.
- Lowman, B. G., Edwards, R. A. y S. H. Somerville** (1976) Condition scoring suckler cows. *E.S.C.A. bull* 6.
- Lowman, B. G., Edwards, R. A., Somerville, S. H. y G. M. Jolly** (1979) The effect of plane of nutrition in early lactation on the performance of beef cows. *Anim. Prod.* 29(3): 293-303.
- Lubritz, D. L., Forrest, K. y O. W. Robinson** (1989) Age of cow and age of dam effects on milk production of hereford cows. *J. Anim. Sci.* 67: 2544-2549.

- MacNeil, M. D. y W. M. Snelling** (1996) Systematic Error in Genetic Evaluation of Miles City Line 1 Hereford Cattle Resulting from Preadjustment for Age of Dam. *J. Anim. Sci.* 74: 1794-1800.
- Manrique, E. y R. Revilla** (1982) Estudio económico del sistema tradicional de producción de terneros para recría en un alto valle de montaña. *Pastos* II(3): 145-165.
- Manrique, E., Revilla, R., Olaizola, A. y A. Bernués** (1992) Los sistemas de producción de vacuno en montaña y su dependencia del entorno. *Bovis* 42: 9-42.
- Mathieu, P. y C. Bernard-Brunet** (1991) L'utilisation de pâturages des génisses. Un atout pour des exploitations de plaine. *IV Congrès International des Terres de Parcours*, France.705-708.
- McIvor, J. G. y R. Moneypenny** (1995) Evaluation of pasture management systems for beef production in the semi-arid tropics: model development. *Agric. Sys.* 49(1): 45-67.
- Meek, R. M. y D. J. Kilpatrick** (1991) An economic nutrition model of beef production. *Agric. Sys.* 36: 105-116.
- Ménissier, F. y J. E. Firsch** (1992) Genetic improvement of beef cows. En *Beef Cattle Production*. (Ed) R. Jarrige y C. Béranger. Theix, Elsevier: 55-83.
- Miller, S. P., Wilton, J. W. y W. C. Pfeiffer** (1999) Effects of milk yield on biological efficiency and profit of beef production from birth to slaughter. *J. Anim. Sci.* 77(2): 344-352.
- Mohiuddin, G.** (1993) Estimates of genetic and phenotypic parameters of some performance traits in beef cattle. *Animal Breeding Abstracts* 61:8: 495-520.
- Moughan, P. J., Smith, W. C. y G. Pearson** (1987) Description and validation of a model simulating growth in the pig (20-90 kg liveweight). *New Zealand Journal of Agricultural Research* 30: 481-489.
- Naazie, A., Makarechian, M. y R. J. Hudson** (1997) Efficiency of beef production systems: description and preliminary evaluation of a model. *Agric. Sys.* 54(3): 357-380.
- Notter, D. R., Sanders, J. O., Dickerson, G. E., Smith, G.M. y T.C. Cartwright** (1970) Simulated efficiency of beef production for a Midwestern cow-calf-feedlot management system. I. Milk production. *J. Anim. Sci.* 49: 1, 70-82
- N.R.C.** (1985) Nutrient requirement of beef cattle. Washington, D.C.

- Oldham, J. D. y G. C. Emmans** (1990) Animal performance as the criterion for feed evaluation. En *Feedstuff Evaluation*. (Ed) J. Wiseman y D. J. A. Cole. London, Butterworths: 73-90.
- Oltjen, J. W., Bywater, A. C., Baldwin, R. L. y W. N. Garrett** (1986) Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *J. Anim. Sci.* 62: 86-97.
- Ortigue, I.** (1991) Adaptation du métabolisme énergétique des ruminants à la sous-alimentation. Quantification au niveau de l'animal entier et de tissus corporels. *Reprod. Nutr. Dev.* 31: 593-616.
- Ortigue, I., Petit, M. y J. Agabriel** (1993) Influence of body condition on maintenance energy requirements of Charolais cows. *Anim. Prod.* 57(1): 47-53.
- Osoro, K.** (1987) Producción de ganado vacuno de carne en pastizales de montaña. Influencia de la intensidad de carga y época de paridera. Tesis doctoral. Dpto. Producción animal. Leon, Facultad de Veterinaria.
- Osoro, K.** (1989) Manejo de las reservas corporales y utilización del pasto en los sistemas de producción de carne con vacas madres establecidos en zonas húmedas. *Investigación Agraria, Producción y Sanidad Animales* 4(3): 207-240.
- Osoro, K y I. A. Wright** (1992) The Effect of body condition, live weight, breed, age, calf performance, and calving date on reproductive performance of spring-calving cows. *J. Anim. Sci.* 70: 1661-1666.
- Ostergaard, S., Sørensen, J. T., Hindhede, J. y A. R. Kristensen** (1996) Technical and economic effects of feeding one vs. multiple total mixed rations estimated by stochastic simulation under different dairy herd and management characteristics. *Liv. Prod. Sci.* 45(1): 23-33.
- Persaud, P., Simm, G. y W. G. Hill** (1991) Genetic and phenotypic parameters for yield, food intake and efficiency of dairy cows fed ad libitum. 1. Estimates for 'total' lactation measures and their relationship with live-weight traits. *Anim. Prod.* 52(3): 435-444.
- Petit, M.** (1990) Alimentación de vacas de carne. En *Alimentación de bovinos ovinos y caprinos*. I.N.R.A. Ed. Mundi-Prensa, Madrid: 143-166
- Petit, M. y D. Micol** (1981) Evaluation of energy requirements of beef cows during early lactation. *Liv. Prod. Sci.* 8: 139-153.
- Piedrafita, J., Quintanilla, R. y J. Jordana** (1993) Factores ambientales que influyen sobre el peso al nacimiento y el peso al destete de bovinos de la población Bruna dels Pirineus. *I.T.E.A.* 12(1): 130-132.
- Pleasant, A. B.** (1997) Use of a stochastic model of a calving distribution for beef cows for formulating optimal natural mating strategies. *Anim. Sci.* 64(3): 413-421.

- Pomar, C. L., Dewey, H., Savoie, P. y F. Minvielle** (1991) Computer simulation model of swine production systems: III. A Dynamic herd simulation model including reproduction. *J. Anim. Sci.* 69: 2822-2836.
- Quintanilla, R.** (1998) Efectos maternos en el peso al destete del ganado vacuno de carne: implicaciones en la estimación de parámetros y la evaluación genética. Tesis doctoral. Departament de Patologia i de Produccions Animals. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona. 143 págs.
- Renand, G., Plasse, D. y B. B. Andersen** (1992) Genetic Improvement of Cattle Growth and Carcass Traits. En *Beef Cattle Production*. (Ed) R. J. a. C. Béranger. Theix, Elsevier: 87-105.
- Revilla, R.** (1987) Las zonas de montaña y su entorno económico. Análisis estructural y bases técnicas para la planificación de la ganadería en los altos valles del Sobrarbe (Pirineo Oscense). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 550 págs.
- Revilla, R.** (1997) Manejo de la reproducción en razas autóctonas explotadas en diferentes sistemas de producción. *I Congreso Ibérico de Reproducao Animal*. Estoril (Portugal)
- Revilla R., Blasco, I., San Juan, L., Casasús, I., Sanz, A. y D. Villalba** (1999) Manejo de rebaños de vacas nodrizas en zonas extensivas. En 3ª jornada ANEMBE de medicina bovina. León, abril 1999.31-47.
- Revilla, R., D'Hour, P., Thénard, V. y M. Petit** (1995) Pâturage des zones de pinèdes par des bovins. *2èmes Rencontres Recherches Ruminants*. Paris, 13-14 Déc.: 61-64.
- Revilla, R., Manrique, E., Alberti, P. y E. Saéz** (1988) La producción ganadera en el Pirine: la explotación del ganado bovino. XXVIII Reunión Científica de la S.E.E.P., Jaca (Huesca).
- Revilla, R., Olleta, J. L., Alberti, P., Blasco, I. y L. San Juan** (1991) Recuperación de peso y de condición corporal durante el periodo de pastoreo en vacas explotadas en condiciones de montaña. *I.T.E.A.* Vol. Extra, nº 11: 298-300.
- Revilla, R., Olleta, J. L., San Juan, L. y I. Blasco** (1992) Recría y manejo de novillas en zonas de montaña. *Bovis* 46: 45-65.
- Rossi, D. J., Kress, D. D., Tess, M. W. y P. J. Burfening** (1992) Correcting bias from the standard linear adjustment of weaning weight to an age-constant basis for beed calves. *J. Anim. Sci.* 70: 1333-1341.
- Rountree, J.H.** (1977) Systems thinking - Some fundamental aspects. *Agric. Sys.* 2: 247-254.

- Russel, A. J. F. y P. J. Broadbent** (1985) Nutritional needs of cattle in the hills and uplands. En Hill and upland Livestock production. (Ed) T. J. Maxwell y R. G. Gunn, BSAP Occ. Publ. no. 10: 55-66.
- Russel, A. J. F. y I. A. Wright** (1983) Factors affecting maintenance requirements of beef cows. *Anim. Prod.* 37(3): 329-334.
- San Juan, L.** (1993) Contribución al estudio del anoestro postparto en vacas de carne explotadas en zonas de montaña: influencia de la alimentación y del manejo del ternero. Tesis doctoral. Zaragoza, Facultad de Veterinaria: 282 págs.
- Sanders, J. O. y T. C. Cartwright** (1979) A general cattle production systems model. I: Structure of the model. *Agric. Sys.* 4(3): 217-227.
- Sanders, J. O. y T. C. Cartwright** (1979) A general cattle production systems model. 2. Procedures used for simulating animal performance. *Agric Syst.* 4(4): 289-309.
- Sanz, A.** (2000) Dinámica folicular en vacas nodrizas sometidas a condiciones nutricionales y de manejo del ternero diferentes. Factores de explotación que determinan la duración del anoestro postparto. Tesis doctoral. Zaragoza. Universidad de Zaragoza.
- Sanz, A., Villalba, D., Casasús, I., Ferrer, R. y R. Revilla** (1997) Efecto de la nutrición y del manejo del ternero en los mecanismos metabólicos y endocrinos que controlan el anoestro postparto en el vacuno de carne. *I.T.E.A.* Vol. Extra 18(2): 508-510.
- SAS** (1992) SAS Technical report p-229. SAS/STAT Software: Changes and Enhancements. Cary NC 27513, SAS INSTITUTE INC.
- Scaramuzzi, R. J., Adams, N. R., Baird, D. T., Campbell, B. K., Downing, J. A., Findlay, J. K., Henderson, K. M., Martin, G. B., McNatty, K. P., McNeilly, A. S. y C. G. Tsonis** (1993) A model for follicle selection and the determination of ovulation rate in the ewe. *Reproduction, Fertility and Development* 5(5): 459-478.
- Schrooten, C. J., Arendonk, A. M. v. y J. A. M. Van Arendonk** (1992) Stochastic simulation of dairy cattle breeding schemes: genetic evaluation of nucleus size and type. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 109(1): 1-15.
- Sinclair, K. D.** (1998) Annual energy intake and the simulated performance of beef cows differing in body size and milk potential. En Effect of extensification on animal performance, carcass composition and and product quality. (Ed) L. O. Fiems y S. D. Campeneere. Gent: 311-330.
- Sinclair, K. D., Broadbent P. J. y J. S. M. Hutchinson** (1994) The effect of pre- and post-partum energy and protein supply on the performance of single- and twin-suckling beef cows and their calves. *Anim. Prod.* 59(3): 379-389.

- Somerville, S. H., Lowman, B. G., Edwards, R. A. y G. Jolly** (1983) A study of the relationship between plane of nutrition during lactation and certain production characteristics in autumn-calving suckler cows. *Anim. Prod.* 37: 353-363.
- Sørensen, J. T.** (1990) Validation of livestock herd simulation models: a review. *Liv. Prod. Sci.* 26: 79-90.
- Sørensen, J. T., Enevoldsen, C. y H. Houe** (1995) A stochastic model for simulation of the economic consequences of bovine virus diarrhoea virus infection in a dairy herd. *Preventive Veterinary Medicine* 23: 3-4.
- Sørensen, J. T., Enevoldsen, C. y T. Kristensen** (1993) Effects of different dry period lengths on production and economy in the dairy herd estimated by stochastic simulation. *Liv. Prod. Sci.* 33: 1-2.
- Sørensen, J. T., Kristensen, E. S. y I. Thyssen** (1992) A stochastic model simulating the dairy herd on a PC. *Agric. Syst.* 39(2): 177-200.
- Spitzer, J. C., Morrison, D. G., Wettemann, R. P. y L. C. Faulkner** (1995) Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *J. Anim. Sci.* 73(5): 1251-1257.
- Spreen, T. H., Ross, J. A., Pheasant, J. W., Moore, J. E. y W. E. Kunkle** (1985) A Simulation Model for Backgrounding Feeder Cattle in Florida. *Bulletin Agricultural Experiment Stations*. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville 850: 66pp.
- Stout, W. L., Vona, L. C., Skiles, J. W., Shaffer, J. A., Jung, G. A. y R. L. Reid** (1990) Evaluating SPUR Model for Predicting Animal Gains and Biomass on Eastern Hill Land Pastures. *Agric. Sys.* 34: 169-178.
- Stuth, J. W., Free, M, Dove, M y R.K. Lyons** (1999) Nutritional management for free-ranging livestock. En "Nutritional ecology of herbivores". H.-J. G. Jung, G. C. J. Fahey (Ed.). American Society of Animal Science, Savoy, Illinois, USA: 696-751
- Teitzel, J. K., Wilson, R. J. y W. Mellor** (1991) Productive and stable pasture systems for cattle fattening in the humid tropics. 1. Field Testing on a naturally fertile site. *Agric. Sys.* 36(3): 251-265.
- Tess, M.W. y B.W. Kolstad** (2000a) Simulation of cow-calf production systems in a range environment: I. Model development. *J. Anim. Sci.* 78:1159-1169
- Tess, M.W. y B.W. Kolstad** (2000b) Simulation of cow-calf production systems in a range environment: II. Model evaluation. *J. Anim. Sci.* 78:1170-1180

- Thénard, V.** (1993) Utilisation par des bovins des zones de pinèdes. Comportement alimentaire et utilisation de l'espace par des vaches taires. Mémoire de fin d'étude. ENITA, Clermont-Ferrand.
- Thompson, W. R., Meiske, J. C., Goodrich, R. D., Rust, J. R. y F. M. Byers** (1983) Influence of body composition on energy requirements of beef cows during winter. *J. Anim. Sci.* 56(5): 1241-1252.
- Thornton, P. K.** (1988) An animal production model for assessing the Bioeconomic feasibility of various management strategies for the Isohyperthermic savannas of Colombia. *Agric. Sys.* 27: 137-156.
- Tong, Y. L.** (1990) Statistical Computing Related to the Multivariate Normal Distribution. The multivariate normal distribution. Springer-Verlag. New York: 181-188.
- Tsutsui, T., Short, N., Medley, G., Goodall, E. A. y M. V. Thursfield** (1997) A stochastic approach to modelling BSE in UK dairy herds. Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine. Proceedings University College, Chester, UK 9th, 10th and 11th April 1997.
- Varona, L., Moreno, C., García Cortés, J. y J. Altarriba** (1997) Multiple trait genetic analysis of underlying biological variables of production functions. *Liv. Prod. Sci.* 47: 201-209.
- Veerkamp, R. F. y G. C. Emmans** (1995) Sources of genetic variation in energetic efficiency of dairy cows. *Liv. Prod. Sci.* 44(2): 87-97.
- Vicini, J. L., Prigge, E. C., Bryan, W. B. y G. A. Varga** (1982) Influence of forage species and creep grazing on a cow-calf system. II. Calf production. *J. Anim. Sci.* 55 (4): 759-764.
- Villalba, D., Blanch, M., Casasús, I., Olleta, J. L. y R. Revilla** (1995) Factores que condicionan las variaciones de peso de vacas y terneros durante el pastoreo en zonas de montaña. *I.T.E.A. Vol. Extra, N° 16(1)*: 156-158.
- Villalba, D., Ferrer, R., Casasús, I., Sanz, A. y R. Revilla** (1997) Efecto de la disponibilidad forrajera y de la condición corporal en los resultados productivos y de comportamiento de vacas lactantes durante el pastoreo de primavera. *I.T.E.A. Vol. Extra 18(1)*: 287-289.
- Webster, A. J. F.** (1981) The energetic efficiency of metabolism. *Proc. Nutr. Soc.* 40: 121-128.
- Werth, L. A., Azzam, S. M., Nielsen, M. K. y J. E. Kinder** (1991) Use of a simulation model to evaluate the influence of reproductive performance and management decisions on net income in beef production. *J. Anim. Sci.* 69: 4710-4721.

- Whittemore, C. T.** (1986) An approach to pig growth modeling. *J. Anim. Sci.* 63: 615-621.
- Wiltbank, J. N., Rowden, W. W., Ingalls, J. E., Gregory, K. E. and Koch, R.M.** (1962) Effect of energy level on reproductive phenomena of mature Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 21:219.
- Williams, C. B., Keele, J. W. y G. L. Bennett** (1992) A Computer model to predict the effects of level of nutrition on composition of empty body gain in beef cattle: II. Evaluation of the model. *J. Anim. Sci.* 70: 858-866.
- Wood, P. D. P.** (1967) Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216: 164-165.
- Woodward, B. W., Pollak, E. J. y R. L. Quaas** (1989) Adjusting weaning weights of simmental beef calves to an age-constant basis. *J. Anim. Sci.* 67: 20-27.
- Wright, I. A., Rhind, S. M., Russel, A. J. F., Whyte, T. K., McBean, A. J. y S. R. McMillen** (1987) Effects of body condition, food intake and temporary calf separation on the duration of the post-partum anoestrous period and associated LH, FSH and prolactin concentrations in beef cows. *Anim. Prod.* 45(3): 395-402.
- Yan, T., Gordon, F. J., Ferris, C. P., Agnew, R. E., Porter, M. G. y D. C. Patterson** (1997) The fasting heat production and effect of lactation on energy utilisation by dairy cows offered forage-based diets. *Liv. Prod. Sci.* 52: 2, 177-186

**ANEJO**



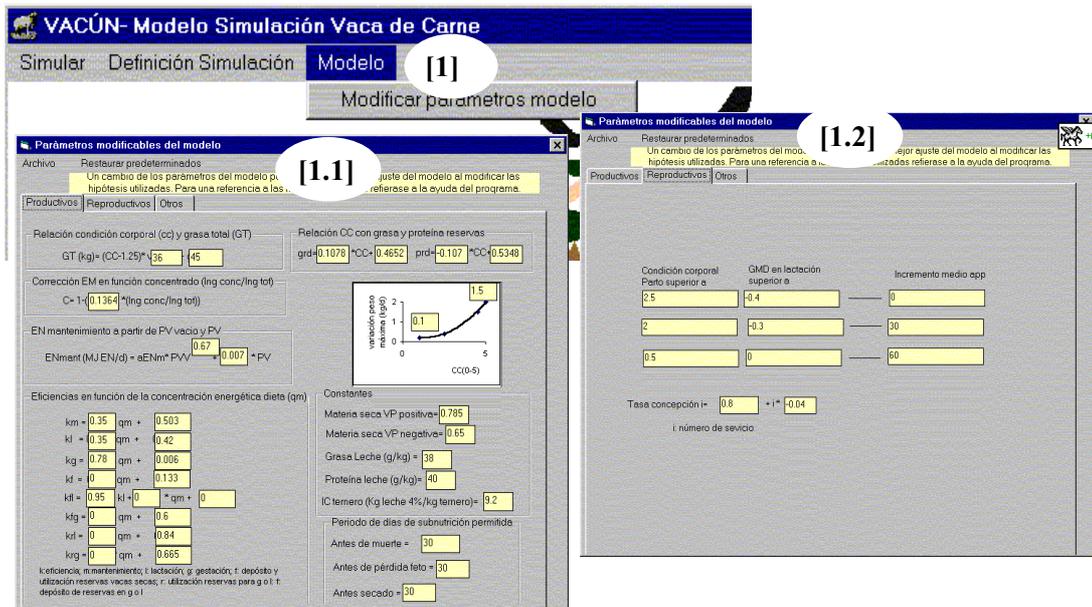


# VACÚN, UN PROGRAMA DE SIMULACIÓN ESTOCÁSTICA DE VACAS NODRIZAS

El programa VACÚN ha sido programado en Visual Basic 5.0 © para simular los rendimientos productivos y reproductivos de lotes de vacas nodrizas y sus terneros sometidas a una estrategia de alimentación conocida. A continuación se describe las opciones que presenta el programa.

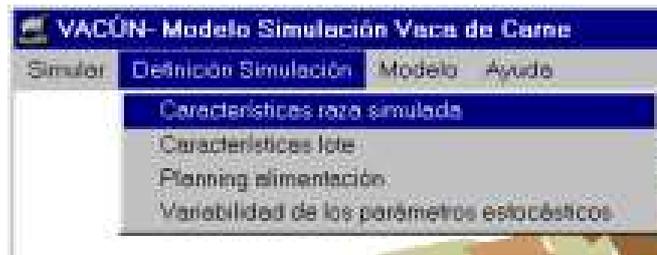


## 1. Pantalla principal



La pantalla principal presenta, en forma de menú, los tres módulos del programa. Agrupados en la opción de **MODELO** (1) se encuentra una descripción de las principales ecuaciones que definen el modelo de simulación. En esta opción se pueden modificar los parámetros técnicos productivos(1.1) y reproductivos (1.2) básicos del modelo definidos en los capítulos 1, 2 y 3. Así el programa puede adaptar las hipótesis del modelo a diferentes condiciones de explotación o a diferentes genotipos.

En la opción **DEFINICIÓN DE LA SIMULACIÓN** (2) se presentan 4 opciones:



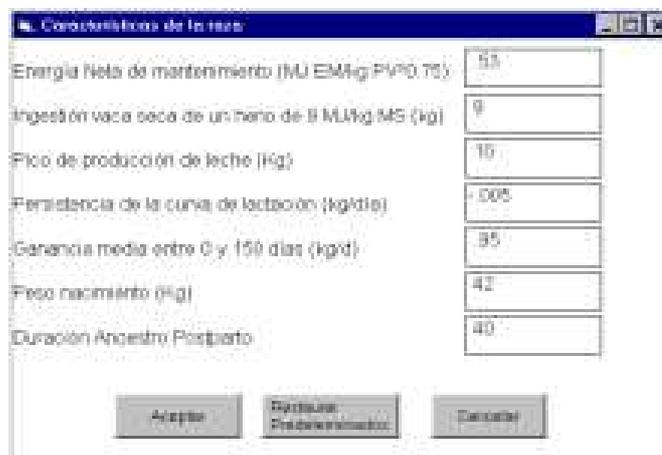
En la opción SIMULAR (3) existe la opción de *Simular* (3.1) un lote previamente definido en la opción 2, *Cargar* (3.2) una simulación desde un archivo una guardado anteriormente, o *Salir* (3.3) del programa.



## 2. Definición de la simulación

### 2.1 Características de la raza simulada

Esta pantalla permite modificar el valor medio de los principales parámetros productivos y reproductivos de la raza que se pretende simular. La modificación de estos parámetros, juntamente con la posibilidad de elección de un conjunto amplio de parámetros del modelo (1.1 y 1.2) hacen al programa VACÚN lo suficientemente flexible para simular situaciones y razas diferentes.

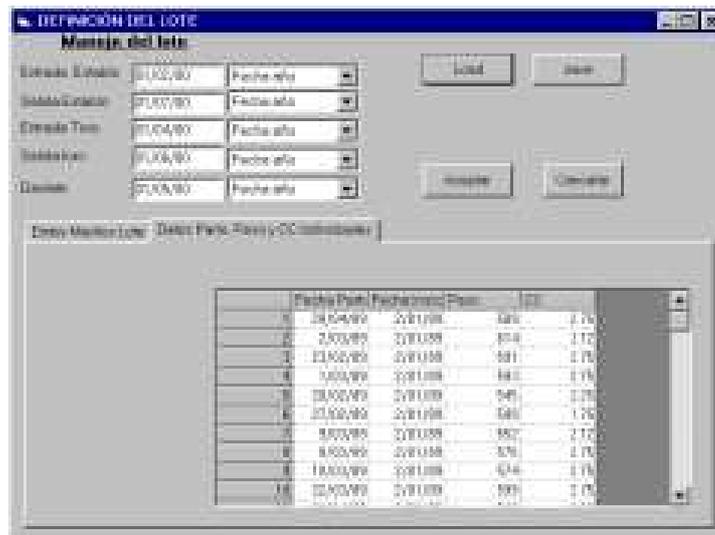


## 2.2 Características del lote simulado

Esta es una de las pantallas clave del programa. Está pensada para definir el manejo del lote que se va a simular, el número de animales que lo compone, e introducir los valores iniciales de fecha de parto, peso y condición corporal de los animales del lote. El programa permite definir estos valores iniciales de dos formas:

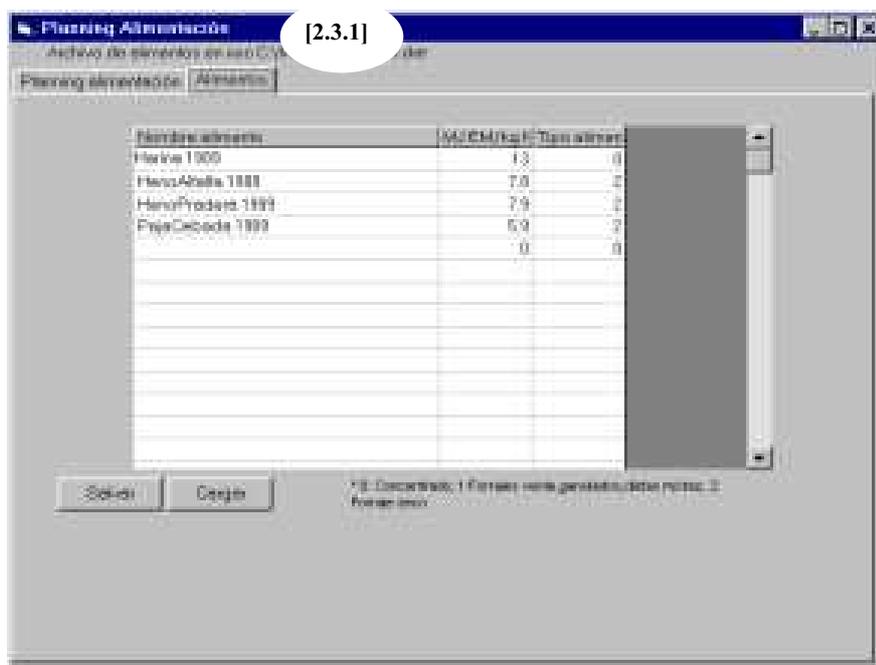
a) Definiendo el valor medio y la desviación típica del peso y la condición corporal del lote, la fecha de inicio de la paridera y su duración. A partir de estos valores, el programa simula el valor inicial de cada animal considerando que el peso y la condición corporal se distribuye entre los animales del lote como una normal, y que la distribución de los partos sigue una función gamma.

b) Introduciendo el valor de peso, condición corporal y fecha de parto de cada animal que compone el lote. Estos datos, que pueden guardarse en un archivo, permiten al modelo simular las condiciones iniciales de un lote real y pueden servir para la validación del modelo.



### 2.3 *Planning de alimentación*

El modelo se centra en la nutrición energética de vacas y terneros. En esta pantalla se definen los alimentos utilizados y la estrategia de administración durante un intervalo de fechas definido. En cuanto a los alimentos se define un nombre identificativo, un valor de energía metabolizable por kg de materia seca y una definición del tipo de alimento de que se trata (2.3.1)



El programa permite dos posibilidades, una estrategia de alimentación para todo el lote o la definición de dos estrategias, siendo una de ellas la aplicada a los animales lactantes. En la Figura (2.3.2) se presenta el segundo caso. La alimentación de las vacas se define mediante la introducción de los Kg de MS consumidos por la vaca de cada uno de los alimentos disponibles. La fecha de cada una de las filas define un cambio de la alimentación del lote.



Tanto las estrategias, como los alimentos definidos se pueden guardar en archivos para ser utilizados en otras simulaciones.

## 2.4 Variabilidad de los parámetros estocásticos

El modelo pretende que los animales que forman un lote sean simulados uno a uno; algunos de los parámetros de cada animal deberán ser obtenidos estocásticamente y para ello es necesario conocer la variabilidad de esos parámetros y las correlaciones entre ellos.

En esta pantalla se puede definir que parámetros serán definidos como estocásticos, la variabilidad (varianza) de cada uno de ellos, y la correlación entre los diferentes parámetros.

Introducción de la matriz de varianzas-covarianzas

**MATRIZ DE VARIANZAS Y CORRELACIONES ENTRE CARACTERES**

Número de caracteres: 5

	EN mast.	Ingred.	Pico prod. leche	Persist. leche	GMQ 0-100
EN mast.	0.05	0.6	0.6	0	0.35
Peso Nacimiento	0.6	56	0.4	0	0.35
Pico prod. leche	0.6	0.4	6	-0.6	0
Persistencia leche	0	0	-0.6	0.005	0
GMQ 0-100	0.35	0.35	0	0	0.010

Aceptar Cancelar Salvar Cargar

### 3. SIMULAR

Una vez definida la raza, el lote y la estrategia de alimentación se puede pasar al proceso de simulación propiamente dicho.

El programa presenta una pantalla resumen de la simulación que se pretende realizar y permite guardar en todos los datos introducidos.

En esta pantalla también se decide el intervalo entre las salidas del modelo y el número de repeticiones ha realizar de cada simulación. En el caso de efectuar más de una repetición los resultados de la simulación se presentan en forma de archivo.

Resumen datos introducidos para la simulación

Número de simulaciones: 1

Intervalo de salida: 1 día

5 variables definidas como estadísticas:

- EN mast. varianzas=0.05
- Peso Nacimiento varianzas=6
- Pico prod. leche varianzas=6
- Persistencia leche varianzas=0.005
- GMQ 0-100 varianzas=0.010

Planing simulación del lote

Inicio experiencia: 31/12/98. fin: 31/5/99 (51 días)

Valor medio dieta Lote: 17.79 MJ DM/ Kg MS y día

Valor medio dieta Lote: 1.8837 MJ DM/ Kg MS y día

Variables Medio Lote:

- Energía líquida de mantenimiento (MJ DM/ Kg MS día): 0.11
- Ingestión seca (kg de un tipo de 1 MJ/kg MS (kg): 0
- Pico de producción de leche (kg): 10
- Persistencia de la curva de lactación (kg/ver): -0.005
- Generación media entre 0 y 100 días (kg/d): 0.01
- Peso nacimiento (kg): 40
- Duración Anestro Postparto: 40

Número de estadísticas simuladas: 1

Peso lacteal: 550

OC lacteal: 0.5

Guardar todo

Imprimir

Salir

31/12/98

31/5/99

Control

Proceso

Simulación

De inicio

Fin

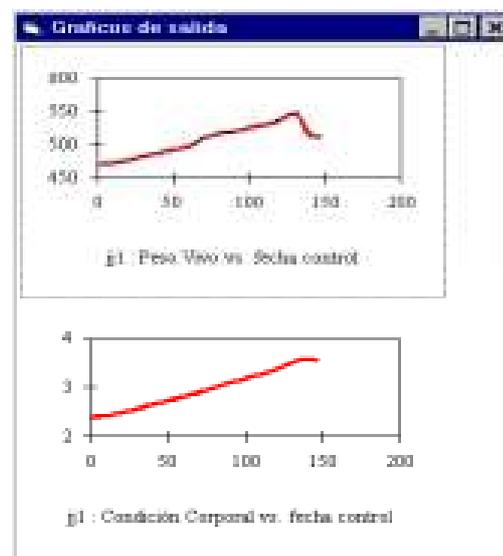
Una vez se decide simular, el programa pregunta que nombre queremos asignar a la simulación; este nombre será el de los archivos de salida. En caso de realizarse más de una repetición, cada repetición se identificará por el nombre y el número de la simulación.

El programa presenta una barra que marca el estado de la simulación (número de vaca que se está simulando, número de repetición y porcentaje de simulación realizado).

Los resultados del modelo se pueden guardar en forma de archivos o ver en forma de gráficos. La pantalla de gestión de resultados permite decidir que variables de cada vaca se quieren guardar en un archivo.



También es posible la visualización en forma de gráficos de los resultados medios de la simulación para las diferentes variables del lote.



Por último se pueden obtener los valores medios, máximos y mínimos del lote para el peso vivo, peso vivo vacío, condición corporal de la vacas, y peso del ternero, al inicio y fin del periodo simulado.

**Resumen resultados simulación**

Identificación simulación: 1

% veces gestantes al fin **95.00%**

		Inicio	Fin	Variación
<b>Peso Vivo:</b>	máx	579.83	705.21	151.58
	medio	545.15	617.81	72.653
	mín	501.95	531.44	-27.78
<b>PV Vacío</b>	máx	483.95	597.67	139.52
	medio	452.14	517.78	65.636
	mín	412.51	438.11	-26.83
<b>CC</b>	máx	3.31	5.00	2.55
	medio	2.52	3.71	1.198
	mín	1.83	2.22	-0.29
<b>Ternero</b>		Inicio	Fin	Gmd (kg/día)
	máx	58.68	143.40	1.06
	medio	46.94	122.79	0.903
	mín	37.46	107.87	0.73