

## EXTENSIVO

# MODELOS DE SIMULACIÓN PARA LA GESTIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA BOVINO VACUNO DE CARNE EN EXTENSIVO

Alberto Bernués<sup>1</sup>, Daniel Villalba<sup>2</sup>, Gillermo Ripol<sup>1</sup>, Roberto Ruiz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Zaragoza.

<sup>2</sup> Departament de Producció Animal, Universitat de Lleida, Lleida.

<sup>3</sup> NEIKER-Tecnalia, Vitoria

## Resumen

Los modelos matemáticos son herramientas útiles para evaluar alternativas de gestión o innovaciones en los sistemas ganaderos, ya que permiten explorar de antemano las consecuencias de su aplicación, teniendo en cuenta las interrelaciones existentes entre los diferentes componentes del sistema de producción.

NODRIZA es un modelo de simulación dinámico y estocástico diseñado para simular la dinámica de rebaño en ganado vacuno de carne. El modelo tiene en cuenta los efectos de la alimentación que reciben los animales, la gestión del rebaño aplicada a nivel de lote y la reproducción animal. NODRIZA puede simular los efectos a corto, medio o largo plazo de diversas estrategias de alimentación, uso de recursos naturales y manejo técnico; y evaluar los resultados en términos de rendimiento técnico y económico, así como el riesgo asociado a dichas estrategias (derivado de la simulación estocástica de los animales, la variabilidad dentro del rebaño y entre años).

En este trabajo, se exponen las características principales del programa y se dan ejemplos de uso y validación con explotaciones comerciales de ganado vacuno de carne con diversos sistemas productivos (nodrizas, cebo y ciclo completo) en Aragón.

## NODRIZA<sup>1</sup>: programa de simulación de sistemas ganaderos de vacuno de carne

NODRIZA es un programa informático que permite evaluar la viabilidad técnica, productiva y económica de las explotaciones ganaderas de vacuno de carne bajo diversas estrategias de alimentación, de manejo reproductivo y del rebaño, así como de uso de recursos naturales.

Esta herramienta está pensada para evaluar alternativas de alimentación y reproducción en diferentes condiciones agroambientales, tanto en sistemas basados en pastoreo como intensivos. El programa puede ser utilizado tanto en la gestión práctica de explotaciones a nivel de campo, como en investigación para explorar nuevas estrategias de gestión y analizar las consecuencias de su aplicación con el paso del tiempo.

El programa ofrece al usuario un entorno amigable de uso, incorpora relaciones de alimentación-reproducción a medio-largo plazo en el rebaño y tiene en cuenta la variabilidad de los animales gracias a funciones matemáticas de carácter aleatorio.

El programa está orientado a ganaderos y profesionales del sector con un cierto grado de conocimientos técnicos, así como investigadores, docentes y estudiantes. Permite al usuario elegir entre diferentes niveles, desde un nivel básico que utiliza los

parámetros preestablecidos en la aplicación realizando únicamente pequeños ajustes para adaptar la simulación a la realidad, hasta un modo avanzado, destinado principalmente a técnicos e investigadores, que permite actuar sobre la práctica totalidad de parámetros de la aplicación, incluyendo las fórmulas de cálculo de las simulaciones.

Así pues, NODRIZA puede ser adaptado por el usuario a diversas necesidades de simulación: variables determinísticas o estocásticas; periodos anuales o plurianuales; y recursos de alimentación, tamaños y manejos de rebaño variables, etc. Es un programa generalizable y aplicable a cualquier explotación de vacuno de carne. Tiene la capacidad de simular a nivel de animal individual las relaciones entre alimentación y reproducción, y de manera agregada, según el manejo de rebaño que siga la explotación, simular a largo plazo la dinámica poblacional del rebaño. El modelo se ejecuta diariamente.

En la Figura 1 se observa la interfaz inicial del programa. En primer lugar el usuario debe elegir entre tres opciones para el tipo de explotación: rebaño de vacas nodrizas (venta de terneros al destete), rebaño de cebo (formado sólo por animales en cebo), o rebaño mixtos (abarca el ciclo completo: vacas nodrizas y animales en cebo). Los menús más frecuentemente utilizados se representan mediante imágenes en secuencia lógica. Podemos observar 3 partes: i) en la primera parte se define el sistema de producción en sus diversas componentes, recursos de pastoreo y alimentos; ii) en la segunda parte se procede a definir el manejo del rebaño y alimentación: lotes, fechas de cubrición, tasas de reposición, etc. y el manejo de la alimentación en diversas épocas; y iii) el paso 3 abre el menú donde se define la simulación.

En la parte inferior hay una opción que permite acceder a los resultados de simulaciones anteriores, sin necesidad de volver a ejecutar el programa. Por último se encuentran las prestaciones para usuarios avanzados, (características de la raza, parámetros del modelo y parámetros estocásticos) que se dan por defecto pero pueden ser modificados por el usuario.

A modo de ilustración, se presenta un ejemplo de formulario de los recursos de pastoreo y manejo de rebaño de una explotación real del Pirineo Central Oscense, así como de salidas de resultados.

El formulario de recursos de pastoreo (Figura 2) recoge los diferentes recursos, las fechas en que están disponibles, así como su concentración energética e ingestión voluntaria. Estas variables pueden variar en el tiempo según fechas establecidas por el usuario lo que permite representar de manera sencilla la variación estacional natural de la calidad del recurso. En la Figura 3 puede verse el formulario donde se introducen los datos de manejo del rebaño: número de vacas, fechas de entrada y salida de toros, manejo de reposición y desvieje, etc.

La Figura 4 recoge la interfase de simulación, una vez definidos los

<sup>1</sup> Tanto el programa como el manual de usuario pueden descargarse de manera gratuita en [www2.cita-aragon.es/e/?a=NODRIZA](http://www2.cita-aragon.es/e/?a=NODRIZA)



alimentos, pastos, manejo de rebaño y plan de alimentación. Puede elegirse entre realizar una simulación con variables estocásticas (aleatorias) o no, el lugar de destino de los ficheros de datos y el tipo de ficheros de salida.

Las Figuras 5 a 8 corresponden a salidas de evolución de peso de los animales en un año, evolución de peso de los animales en todo el periodo de simulación, resumen del plan anual de alimentación y balance económico, respectivamente. Todas las gráficas y tablas de salida tienen múltiples opciones de datos a representar, fechas, tipos de animales, periodos, etc.

Figura 1. Interfaz principal de programa NODRIZA

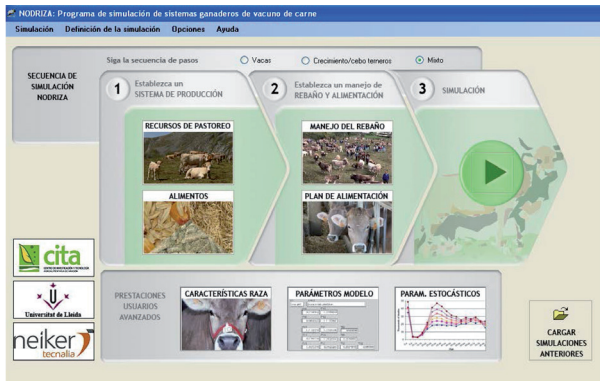


Figura 2. Formulario de recursos de pastoreo

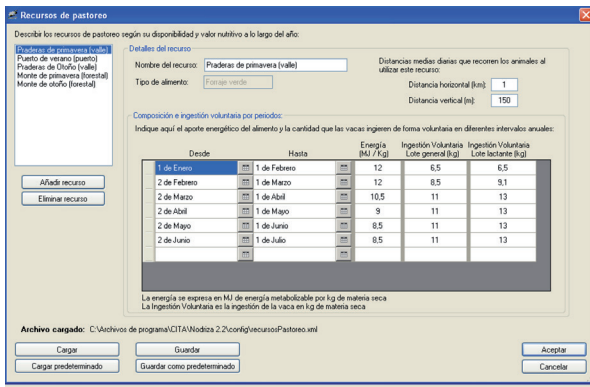


Figura 3. Formulación de manejo de rebaño

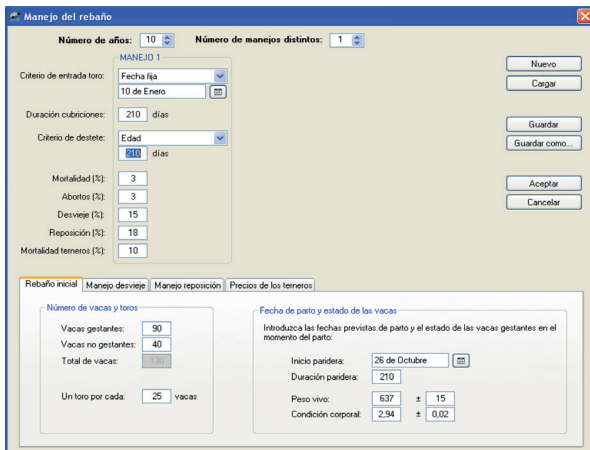


Figura 4. Interfaz de elección de tipo de simulación y de ficheros de datos de salida

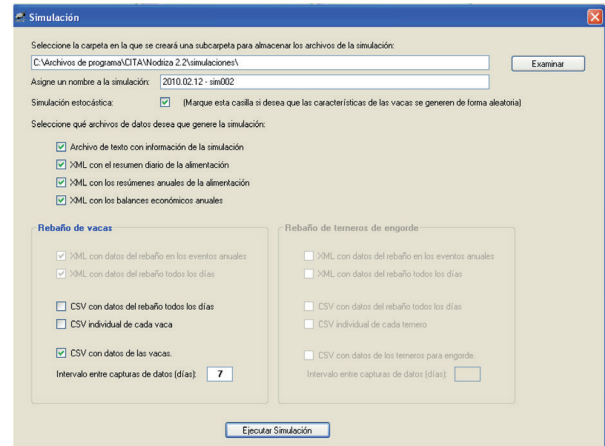


Figura 5. Simulación del peso vivo de vacas gestantes y lactantes en el año 4 de simulación.

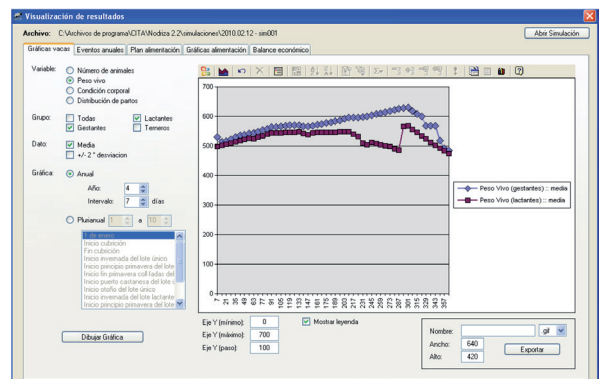


Figura 6. Simulación del peso vivo de vacas gestantes y lactantes al inicio del pastoreo de montaña a lo largo de todo el periodo simulado

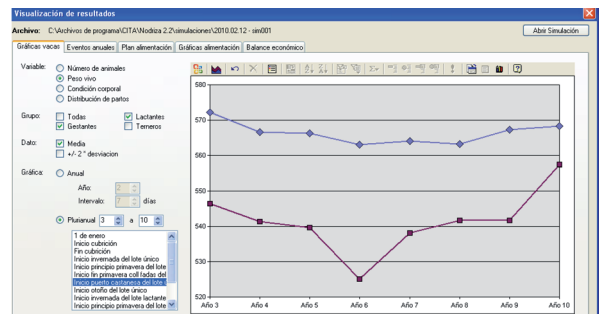


Figura 7. Resumen del plan anual de alimentación del año 4 de simulación

Lote	Lote No Lactante		Lote Lactante		Terreno Lactante	
	Días vaca	Ingestión	Días vaca	Ingestión	Días terreno	Ingestión
Monte de verano (pasto)	1.590	4.770,00	26.160,00	4.865	19.454,00	195.712,00
Monte de primavera (pasto)	1.590	12.720,00	127.200,00	4.866	48.660,00	498.600,00
<b>TOTAL ALIMENTOS</b>		<b>165.360,00</b>				<b>642.312,00</b>
Praderas de primavera (valla)	2.584	28.134,00	268.296,00	7.241	92.713,40	889.409,00
Punto de verano (pasto)	11.561	120.649,00	875.519,00	1.217	15.471,30	114.461,00
Praderas de otoño (valla)	3.774	26.763,00	241.763,00	5.337	35.759,10	330.376,00
Monte de primavera (valla)	895	8.855,00	62.290,00	957	10.294,00	70.155,40
<b>TOTAL RECURSOS DE PASTOREO</b>		<b>1.452.982,00</b>				<b>1.382.403,00</b>
<b>TOTAL AÑO 4</b>		<b>1.618.24,00</b>				<b>2.024.71,00</b>
% alimento comprado/hábitat alimentado		11%				46%

Figura 8. Balance económico en el año 4 de simulación

	Lote No Lactante	Lote Lactante	Lote Tel.Lac.M	Lote Tel.Lac.H	Total Explicación
Heno padero	572,40	2.335,68	0,00	0,00	2.908,08
Silo tipo 2	1.780,00	6.812,40	0,00	0,00	8.592,40
TOTAL COSTES	2.352,40	9.148,08	0,00	0,00	11.500,48
TOTAL INGRESOS		33.160,00	45.846,45		89.006,45
RESANTE AÑO 4					69.505,97

### Uso<sup>2</sup> y validación de NODRIZA en explotaciones comerciales

NODRIZA se ha validado en explotaciones de vacuno de carne de Aragón, Cataluña y País Vasco. En Aragón, se realizó un seguimiento periódico de 6 explotaciones de vacuno de carne pertenecientes a las Asociaciones de Criadores de Parda de Montaña y Pirenaica situadas en diversos ámbitos agro-ecológicos (alta montaña, media montaña y valle medio del Ebro) en las 3 provincias aragonesas (Tabla 1).

En una primera visita fue necesario realizar una encuesta exhaustiva sobre estructura de la explotación, uso de superficie agraria (pastos en particular), manejo reproductivo de los animales, plan anual de alimentación, etc. así como aspectos económicos y sociales.

Los ganaderos aportaron sus libros de explotación, gracias a los cuales contamos con un registro de partos, celos e incidencias de los últimos 10 años en los rebaños; estos datos nos han permitido validar el funcionamiento del modelo con periodos de tiempo prolongados.

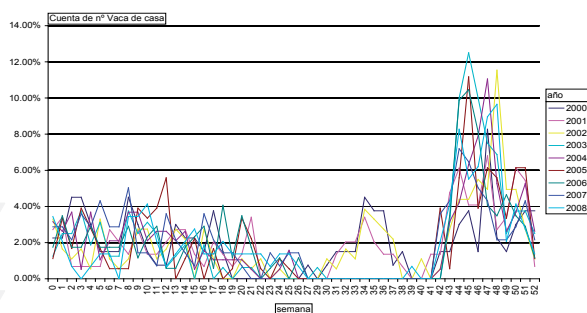
Posteriormente, se realizaron tres visitas a cada explotación para pesar y registrar la condición corporal en momentos importantes del ciclo productivo, ej. salida al pasto, entrada en establo, etc. (Tabla 1).

Además se procedió a tomar muestras de los principales alimentos empleados para su caracterización, estima de la ingestión voluntaria y parametrización del programa.

En cuanto a la simulación de explotaciones reales, se incluye 1 caso de las 6 explotaciones bajo control. Se trata de la misma explotación antes utilizada para ilustrar NODRIZA. Es una explotación de alta montaña, con estabulación invernal, utilización de pastos intermedios (forestales) en primavera y otoño, y uso de puerto en verano. El rebaño tiene 180 vacas y el periodo de cubrición es desde primeros de enero hasta primeros de agosto. Los terneros están con las madres hasta su destete a los 6-8 meses de edad. La explotación es de ciclo completo, cebando los terneros hasta su sacrificio a 350kg de peso canal.

En la Figura 9 se representan los datos reales de distribución de partos de dicha explotación en el periodo 2000-2008.

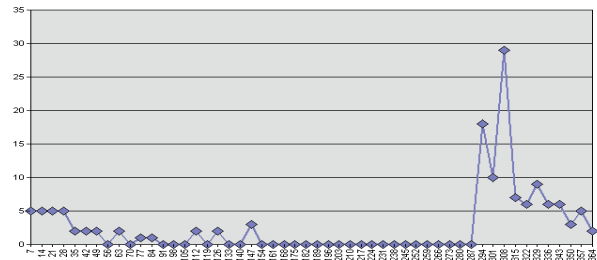
**Figura 9.** Distribución de partos real en los años 2000-2008 (en % de partos)



2 El programa NODRIZA ha sido solicitado por más de 500 usuarios fundamentalmente en España, si bien un 20% de solicitudes proceden del extranjero, fundamentalmente de América Latina.

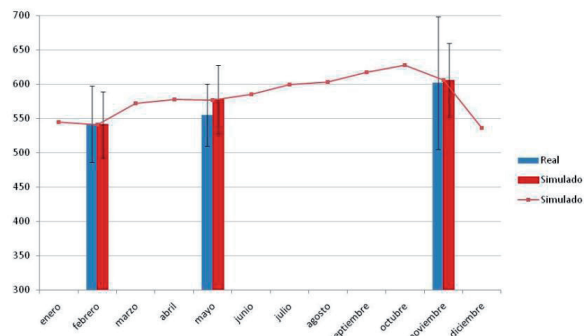
Como puede observarse, no ha habido variaciones evidentes en la pauta de partos en los diferentes años, con una cierta concentración entre las semanas 44 y 48 de cada año, lo que significa que el manejo reproductivo se ha mantenido constante en el periodo referido. En la figura 10 se representa la distribución de paridera semana anual simulada mediante NODRIZA. Puede observarse como el programa es capaz de representar de manera bastante aproximada la distribución de los partos en la explotación.

**Figura 10.** Distribución de partos simulada (en nº de partos)



En relación a los datos de peso de los animales, en la Figura 11 se observan los datos medios y las desviaciones de diversos controles realizados en fechas clave de manejo a lo largo del año: al final de la invernada, antes de la subida a los pastos y antes de la estabulación invernal. Puede observarse como el modelo refleja correctamente los pesos en esas fechas, no solo el dato medio sino la variabilidad del rebaño. Asimismo vemos la evolución anual del peso de los animales.

**Figura 11.** Evolución del peso de vacas gestantes y lactantes, valores reales y simulados



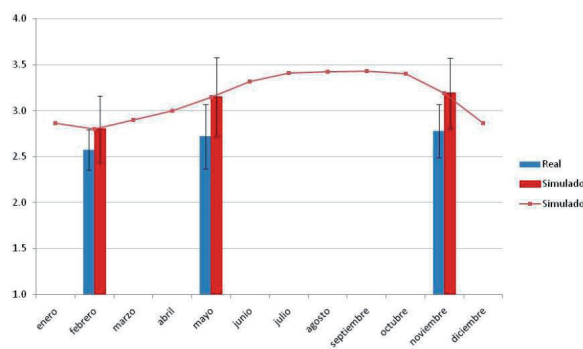
Los datos de peso son muy similares a los representados en la Figura 6 para una serie multianual. Se observa como a partir del año 3 los pesos se estabilizan alrededor de 563-572 kg para las secas o gestantes y 525-546 kg para las lactantes, datos muy similares a los reales de la explotación. Resultados muy similares se obtienen con los datos simulados de condición corporal (CC) (Figura 12), si bien en este caso parece que el modelo está sobreestimando la CC de las vacas secas y gestantes.

**Figura 12.** Evolución de la condición corporal de vacas gestantes y lactantes, valores reales y simulados



**Tabla 1.** Relación de explotaciones y controles realizados en Aragón

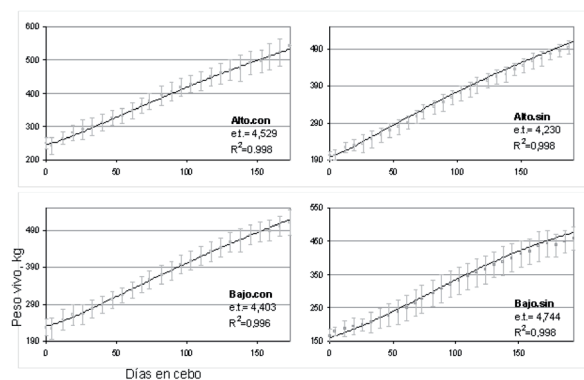
Localización	Raza Explotada	Ubicación	Tipo de Manejo	Pesos Invierno	CC Invierno	Pesos Primavera	CC Primavera	Peso Otoño	CC Otoño
Noales (Huesca)	Parda de Montaña	Alta Montaña	Manejo tradicional de montaña (puerto de verano)	542±56 N=37	2.58±0.22 N=37	555±48 N=56	2.72±0.35 N=56	603±91 N=40	2.80±0.30 N=40
Villarlengo (Teruel)	Pirenaica	Alta Montaña	Pastoreo continuo en montaña		2.4±0.30 N=31				2.83±0.25 N=30
Besians (Huesca)	Parda de Montaña	Media Montaña	Manejo tradicional de montaña (puerto de verano)	593±60 N=16	2.40±0.30 N=16			527±109 N=65	2.68±0.28 N=65
Ainsa (Huesca)	Pirenaica	Media Montaña	Alterna pastoreo de pradera con estabulación	548±68 N=41	2.50±0.35 N=41	574±66 N=39	2.70±0.36 N=39	554±62 N=41	2.50±0.39 N=41
Epila (Zaragoza)	Pirenaica	Valle	Alterna pastoreo de pradera con estabulación	513±98 N=50	2.53±0.19 N=50	506±87 N=51	2.74±0.34 N=51	508±90 N=42	2.47±0.36 N=42
Yéqueda (Huesca) <sup>1</sup>	Parda de Montaña	Valle	Verano-otoño en puerto Invierno-principio primavera cuadra		2.45±0.30 N=113		2.25±0.28 N=80		2.28±0.40 N=117



Finalmente, para ilustrar el módulo de cebo del modelo original se presentan los datos obtenidos de 20 terneros de raza Parda de Montaña. Los terneros se dividieron en 4 lotes en función de dos niveles de alimentación de las vacas nodrizas durante la lactación (Alto y Bajo) y de si se suministró concentrado de iniciación a los terneros hasta el destete (Con y Sin). Los animales se destetaron a los 150 días de edad y permanecieron en cebadero alimentándose con concentrado comercial y paja ad libitum durante un periodo de entre 170 y 212 días, sacrificándose a medida que llegaban a un peso fijo de 525 kg. El consumo diario de alimento se controló de forma individual y se realizaron pesadas semanales.

En la Figura 13 se contrasta la evolución del peso vivo estimada del modelo con cada lote de terneros. En los cuatro lotes se observa como el modelo se ajusta a la curva con un coeficiente de determinación superior en todos los casos al 0,99 y con un error típico máximo entre los valores reales y los estimados de 4,7 kg en el caso del lote Bajo-Sin.

**Figura 12.** Evolución del peso vivo de terneros en cebo con diferentes estrategias de alimentación



## Conclusión

El software NODRIZA se ha diseñado de modo que se pueda adaptar a las necesidades del usuario interesado en simular el comportamiento productivo de los rebaños de vacuno de carne en circunstancias muy diversas.

Se trata de un modelo dinámico y estocástico que permite simular efectos a corto, medio o largo plazo de escenarios de manejo complejos, considerando no sólo la dinámica del rebaño y las interacciones entre la alimentación, el manejo y la reproducción, sino también la utilización de los recursos naturales.

Las simulaciones pueden ser utilizadas para explorar nuevas estrategias de gestión y analizar *a priori* las consecuencias de su implementación bajo diversos escenarios, sin embargo, los resultados concretos obtenidos no deben ser considerados como definitivos o concluyentes de cara a elegir una estrategia óptima.

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración desinteresada de los ganaderos que han participado en la validación de NODRIZA en el País Vasco, Aragón y Cataluña. NODRIZA ha sido desarrollado por el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, NEIKER Tecnalia y la Universidad de Lleida. Su desarrollo ha sido financiado por varios proyectos de investigación y transferencia del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

## Publicaciones

Villalba D., Díez-Unquera B., Carrascal A., Bernués A., Ruiz R., 2015. **An integrated simulation and optimization model of sheep farms as a tool to explore technical and environmental objectives.** *Advances in Animal Biosciences*, 6(1), 6-8.

Díez-Unquera B., Ripoll-Bosch R., Ruiz R., Villalba D., Olaizola A., Blasco-Aramendía I., Ripoll G., Sanz A., Casasús I., Joy M., Beltrán de Heredia I., Ameen F., Molina E., Bernués A., 2012. **Nuevos enfoques para el estudio de sistemas agro-silvo-pastorales: análisis de sostenibilidad y modelos de simulación.** En: *Avances de Investigación en Producción Animal en Iberoamérica*. O. A. Castelán Ortega, A. Álvarez Macías, A. Bernués Jal, J.C. Ku Vera, V. C. Silveira (eds.). Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, 277-304.

Villalba D., Ripoll G., Ruiz R., Bernués A., 2011. **Use of stochastic models to simulate long-term dynamics of mountain cattle herds under low-labour availability scenarios.** In: *New trends for innovation in the Mediterranean animal production*, R. Bouche, A. Derkimba & F. Casabianca (Eds.) Wageningen Academic Publishers, EAAP Scientific Series 129, 89-98.

Villalba D., Ripoll G., Ruiz R., Bernués A., 2010. **Long-term stochastic simulation of mountain beef cattle herds under diverse management strategies.** *Agricultural Systems* 103, 210-220.

Villalba D., Casasús I., Sanz A., Bernués A., Estany J., Revilla R., 2006. **Stochastic simulation of mountain beef cattle systems.** *Agricultural Systems* 89 (2-3), 414-434.

Ruiz R., Villalba D., Bernués A., 2005. **Desarrollo de un modelo de simulación de la dinámica de rebaño en sistemas extensivos de vacuno de carne.** ITEA, vol. extra nº 26 tomo I, 204-206.

Bernués A., Ripoll G., Ruiz R., Casasús I., Villalba D., 2005. **Aplicación de un modelo de simulación de crecimiento al cebo de terneros de raza Parda de Montaña: resultados preliminares.** ITEA, vol. extra nº 26 tomo I, 219-221.



# XX

## CONGRESO INTERNACIONAL ANEMBE DE MEDICINA BOVINA

Burgos 6, 7 y 8 de mayo de 2015

LIBRO DE PONENCIAS, COMUNICACIONES ORALES Y POSTER

