



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

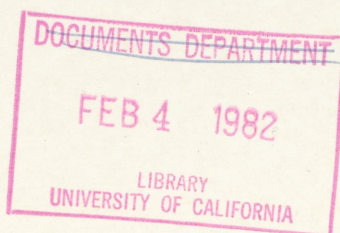
No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

SPAIN

Com. # 9

MINISTERIO DE AGRICULTURA

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS



**EL USO DE LA SIMULACION PARA
EL ESTUDIO DE UN SISTEMA
EXTENSIVO DE PRODUCCION
ANIMAL**

GIANNINI FOUNDATION OF
AGRICULTURAL ECONOMICS
LIBRARY

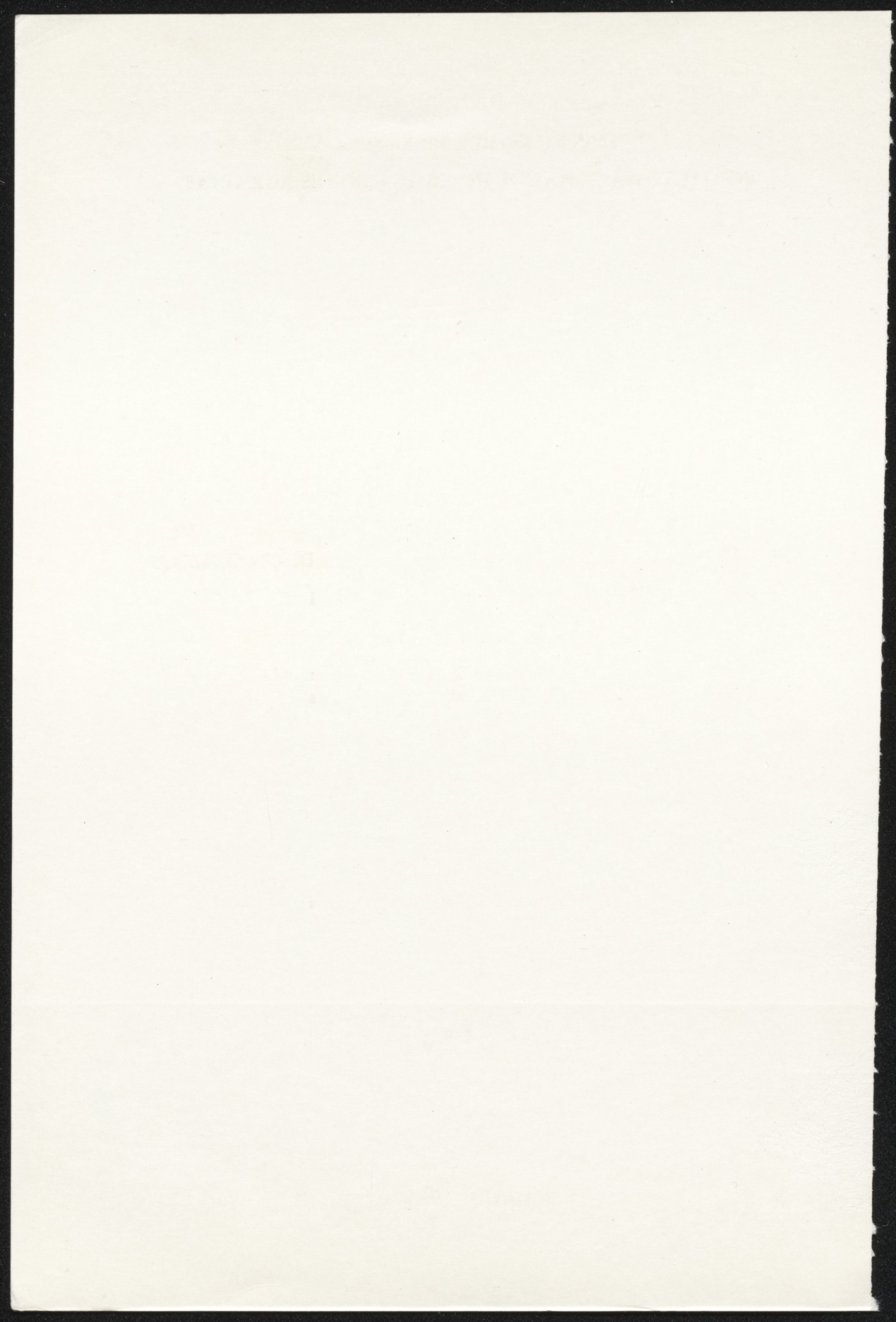
JUN 3 0 1982

COMUNICACIONES I.N.I.A.

SERIE: ECONOMIA Y SOCIOLOGIA AGRARIAS

N.º 9

1981



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS

**EL USO DE LA SIMULACION PARA EL ESTUDIO DE UN SISTEMA
EXTENSIVO DE PRODUCCION ANIMAL**

A. González de Chaves Fernández

Departamento de Desarrollo. CRIDA 11 (Canarias. INIA
Avda. Juan XXIII. Las Palmas (Gran Canaria)

Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias
José Abascal, 56. Tlfo. 441.31.93
MADRID - 3 (España)

MADRID - 1981

ISSN: 0210 - 332X

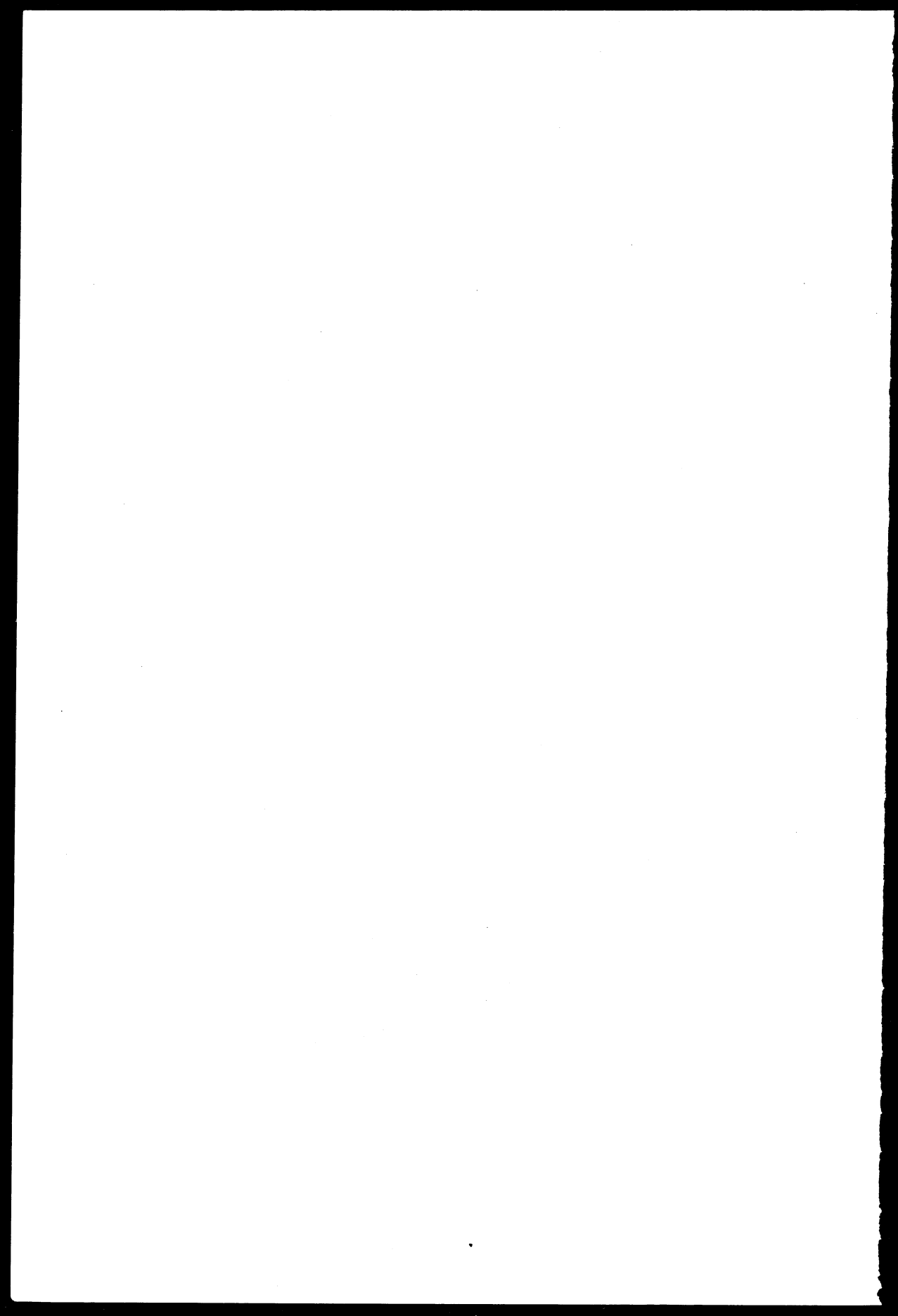
ISBN: 84-7498-064-X

Depósito Legal M-34223 - 1981

INIA. José Abascal, 56. MADRID - 3

Este trabajo es la traducción simplificada del original en inglés, fruto de un proyecto de investigación realizado en la Universidad de Reading y que fue presentado para la obtención del título de "Master of Science" en dicha Universidad, en septiembre de 1977.

El antecedente de éste estudio es el proyecto conjunto INIA/BIRF/FAO, llevado a cabo en las regiones áridas del Sur de España sobre métodos para incrementar la producción de materia seca a partir de pastizales de secano.



INDICE

	Pág.
Introducción	7
1. Un sistema extensivo de producción vacuna y ovina en un medio ambiente mediterráneo	7
1.1. El medio ambiente	7
1.2. Recursos	8
1.3. Los sistemas de producción	9
2. Un enfoque de sistemas general y comprensivo	14
2.1. La necesidad de un enfoque de sistemas	14
2.2. Partes del sistema	14
3. Método de estudio	21
3.1. Datos e información, método adoptado y problemas	21
3.2. El coste frente al beneficio de adquirir más información y conocimiento .	22
3.3. La urgencia del problema y la precisión requerida	23
3.4. La finalidad del estudio	23
3.5. La selección del método	24
3.6. El método de simulación	27
4. La construcción del modelo	28
4.1. Los modelos matemáticos	28
4.2. Partes del modelo, fuentes, supuestos y simplificaciones	29
4.3. Las entradas del modelo	29
4.4. Submodelo de producción de hierba	36
4.5. Submodelo de producción animal	38
4.6. Submodelo económico	42
4.7. Las salidas del modelo	43
5. Validación y experimentación	44
5.1. Validación	44
5.2. Los resultados del modelo	45
5.3. Problemas y políticas a considerar: experimentos	45

6. Conclusiones y recomendaciones	87
Apéndices	93
Apéndice 1. Otras relaciones matemáticas y detalles del modelo	95
Apéndice 2. Definición de las principales variables del modelo	98
Resumen	101
Summary	102
Agradecimientos	104
Referencias bibliográficas	104

INTRODUCCION

El hacer un buen uso de pastos de secano mejorados para aumentar la producción de carne, puede implicar alteraciones e incluso drásticos cambios en los sistemas tradicionales de producción ganadera.

Las variaciones estacionales características en la producción de pastos, debidas a los típicos períodos secos mediterráneos, significan que la mayoría de los alimentos consumidos han sido producidos algunos meses antes y que deben ser conservados o bien en el terreno o como heno o ensilados, lo que implica un coste.

El problema es establecer un sistema de producción ganadera que compagine, los requerimientos alimenticios de los animales con las disponibilidades, en términos de cantidad y calidad, pero al mismo tiempo, incrementando las ganancias de la explotación. En este estudio se pretende investigar este problema por medio de un modelo de simulación.

En primer lugar, se hace una descripción de los sistemas de producción; luego se revisan cualitativamente los factores físicos y biológicos que afectan a estos sistemas, y se explica después el método utilizado y las razones de adoptarlo; la sección siguiente está dedicada a la construcción del modelo y, finalmente, se presentan los resultados y experimentos llevados a cabo con dicho modelo, exponiéndose algunas conclusiones y recomendaciones.

1. UN SISTEMA EXTENSIVO DE PRODUCCION VACUNA Y OVINA EN UN MEDIO AMBIENTE MEDITERRANEO

En esta sección se hace una descripción muy breve de los sistemas tradicionales y mejorados de producción animal, después de mencionar el medio ambiente que los afecta y los recursos más comúnmente utilizados.

La información proviene de publicaciones del Ministerio de Agricultura (1972), con información adicional derivada de la experiencia del autor en su trabajo en el área durante 1974-1975.

1.1. El medio ambiente

El sistema de producción agraria del que se ocupa este estudio, está ampliamente extendido sobre una gran parte del sur y oeste de España, y cubre una considerable proporción de las tierras cultivables de Extremadura, Andalucía y algunas provincias de Castilla. En un área tan extensa se pueden encontrar diferentes condiciones naturales en cuanto a altitud, orografía, climatología y suelo. Esto quiere decir que la vegetación natural y el tipo de agricultura pueden variar substancialmente. No obstante, en los actuales sistemas de producción agraria, pueden ser observadas algunas características comunes.

La situación geográfica de este área determina su climatología, con una pluviometría anual variable que podríamos considerar de 600 mm, con veranos calientes y secos e inviernos suaves. La distribución estacional de lluvias es muy irregular, ocurriendo principalmente de septiembre a mayo, lo que explica que la estación de crecimiento dure aproximadamente ocho meses, siendo la falta de humedad en el suelo el factor limitante más importante para el crecimiento vegetal. La temperatura puede alcanzar más de 40° C en verano y el número de días con heladas en invierno es escaso. Las altas temperaturas, conjuntamente con el gran número de días soleados en primavera y verano, producen alta evapotranspiración y una temprana deficiencia de humedad en el suelo.

La vegetación natural responde a estas condiciones; una vegetación mediterránea característica forma el monte, con diversas especies de *Quercus* tales como encinas y alcornoques, así como matorrales tipo *Cistus*. Diferentes especies de plantas constituyen el pasto natural con aproximadamente 30–40 por ciento de cereales y 10–20 por ciento de leguminosas.

La población está esparcida formando pueblos o ciudades dedicadas principalmente a la agricultura. Los mercados locales proporcionan los medios para el normal comercio entre el agricultor y los comerciantes del exterior, y los más importantes y cercanos mercados para la producción son Madrid y Sevilla.

Las carreteras y comunicaciones pueden considerarse adecuadas. Servicios de extensión y crédito actúan en todas las zonas tanto por agencias gubernativas como por empresas comerciales y cooperativas.

1.2. Recursos

La importancia de algunos recursos relativos a la producción agrícola, en el entorno antes descrito, viene recalcada por el hecho de que su escasez e inadecuada situación ha estado obstruyendo el desarrollo normal de aquellas regiones. Este ha sido el principal impedimento para que el desarrollo agrícola se manifestara en el pasado, y el objetivo de todas las actividades llevadas a cabo para mejorar la situación es liberar de esas limitaciones a los sistemas de producción.

Entre otros factores, el tamaño de las explotaciones y la fertilidad del suelo pueden ser esenciales en el proceso de producción. Para permitir un tamaño eficiente y una combinación de las actividades es necesaria una dimensión mínima de la explotación agraria. Prescindiendo de los casos en que se presente un difícil y complejo problema estructural, lo cual se sale fuera del alcance de este trabajo, éste se va a centrar en una situación en la que el tamaño de la explotación sea adecuado para que haga posible la incorporación de unas mejoras.

En cuanto a la fertilidad del suelo, la erosión y la excesiva utilización anterior pueden haber deteriorado su potencial. El uso de fertilizantes y las labores continuas podrían mejorar su condición.

La proporción del terreno no arable y la destinada exclusivamente a bosque o pasto natural es alta. Cambiar esta situación podría ser muy costoso para el agricultor individual pero conveniente desde el punto de vista del interés social o nacional.

Una característica a tomar en consideración respecto al régimen de tenencia de la tierra sería el hecho de que, en la mayoría de los casos, nos encontramos con cultivadores directos.

La falta de capital ha sido en muchos casos verdadera limitación que, junto con otras razones, ha podido actuar en contra de un desarrollo agrario. Las mejores oportunidades para el dinero invertido fuera de la agricultura y la región, y las inconsistentes y peculiares políticas fiscal y agraria, podría también explicar la actitud negativa de muchos agricultores a invertir en sus fincas en el pasado, y que el capital involucrado en estos sistemas de producción, haya sido mantenido a los niveles más bajos posibles.

Hoy en día, no sólo son diferentes las circunstancias, sino que cantidades importantes de dinero se han dispuesto a disposición en forma de créditos a largo plazo con un interés relativamente bajo. Se le han dado grandes incentivos y posibilidades a la inversión de capital para incrementar la producción animal y como consecuencia de ello ha tenido lugar una intensificación de la actividad. Se puede asumir que, en la actualidad, el capital no será un factor limitante si se supone que la inversión producirá suficiente rentabilidad para pagarse a si misma.

A pesar de la abundancia de mano de obra en la región, pueden surgir algunos problemas debido a la falta de destreza y experiencia de los agricultores, gestores y obreros para enfrentarse con nuevas situaciones y técnicas, lo que aconsejaría la actualización de la formación profesional del agricultor. Hay razones para anticipar que los salarios aumentarán y que las relaciones entre el personal asalariado y el agricultor o propietario serán más racionales y modernas.

1.3. Los sistemas de producción

Este trabajo intenta estudiar especialmente los sistemas de producción agraria que se hallan ubicados en zonas de sierra, en lo que se ha venido llamando dehesa. La importancia de este tipo de agricultura se explica, por la proporción de terreno bajo este sistema de producción y por la extensión afectada. Sólo en la provincia de Badajoz, más de 1,3 millones de ha, son dehesas bien con árboles o sin ellos y ocupan el 60 por ciento de todo el terreno

Otras formas de producción ganadera en las llanuras de secano mantienen características similares, aunque condiciones más favorables permitirían sistemas más intensivos.

Las principales características de los sistemas de producción agraria tradicionales, son una combinación entre producción ganadera y de cereal con uso extensivo de los pastos, sin que la compra de alimentos para el ganado del exterior de la explotación llegue a alcanzar cifras significativas. Este ganado puede ser vacuno o ovino (o ambos), dependiendo de las preferencias del agricultor, de las condiciones y de la situación de la finca en particular. Para la producción del vacuno se usa fundamentalmente la raza nativa *Retinta* y el ganado lanar suele ser *Merino*.

Los cultivos son principalmente de cereal y cubren una pequeña proporción del terreno de la finca en tanto que la tierra no arable y pastos naturales cubren la mayor parte de ella. En la tierra arable se efectúa una rotación de 5 a 8 años con cereal, avena o veza—avena para forraje conservado, seguido de 4 a 7 años de pradera.

El suelo, el clima y los mercados han sido las razones principales para la adopción de estos sistemas, junto con el tamaño relativamente grande de las explotaciones y la falta de voluntad, de incentivos o de tecnología para mejorarlo.

El principal problema o limitación de estos sistemas son la baja cantidad y calidad de alimentos para el ganado durante la estación seca, lo que obliga a mantener bajas cargas ganaderas, resultando un escaso margen por hectárea comparado con sistemas mejorados. Esto es causa también de que se obtengan unos índices de fertilidad y mortalidad poco satisfactorios ya que la condición de los animales se ve substancialmente deteriorada durante el verano.

La dehesa está bastante a menudo cubierta con árboles. Se pueden observar dos especies: la encina, cuyo fruto es usado para alimentar cerdos de forma extensiva, y alcornoque que contribuyen periódicamente, de una forma considerable, a aumentar el beneficio de la explotación.

La figura 1 muestra de forma esquemática algunas características de este tipo de sistema.

El primer motivo para la mejora, es evitar las limitaciones mencionadas en los párrafos anteriores. El principal objetivo de un proyecto de mejora es el incrementar la producción de materia seca, con la calidad requerida, para conseguir mayor producción por hectárea y por cabeza de ganado.

Presiones sociales y políticas han forzado el cambio, avances tecnológicos lo han hecho posible e incentivos económicos y medidas de política agraria han acelerado el proceso.

Las fincas pueden ser expropiadas si sus propietarios no mejoran el sistema de producción para acercarse a su potencial productivo. Han sido puestos a su disposición, créditos con intereses bajos y tecnología que junto con subsidios, han inducido a los agricultores a mejorar el sistema de producción.

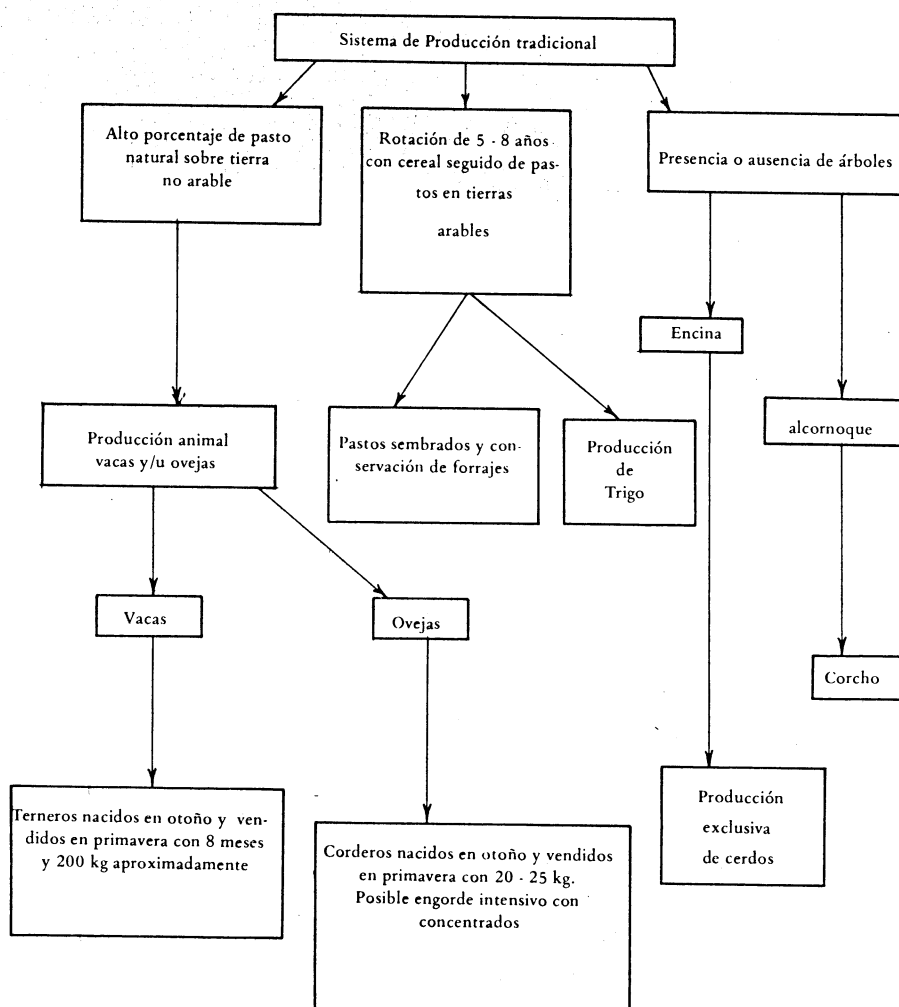


Figura 1.- Un Sistema de Producción tradicional

Algunas operaciones y actividades requeridas por un proyecto de mejora incluyen, en primer lugar, y con frecuencia, limpiar el terreno de piedras, vegetación e incluso árboles cuando su número y localización es un estorbo para las labores futuras. De esta manera, terrenos no arables pueden volverse útiles para establecer cosechas y pastos sembrados, nivelando el terreno y preparando la tierra. En segundo lugar, se establece una rotación en la que especies leguminosas como trébol subterráneo y medicagos, cubrirán la mayor parte de las parcelas, ya que el fin es lograr la mayor cantidad de alimento posible, pero al mismo tiempo, reduciendo al mínimo la depreciación del valor nutritivo con el tiempo.

En tercer lugar, debe considerarse la instalación necesaria de cercas, su número y localización y las edificaciones y cobijos apropiados.

Finalmente, hay que tomar decisiones respecto al número de animales, sus clases y razas, el nivel de fertilizantes a usar, el tipo y tamaño de la maquinaria a comprar y también los concernientes a los insumos, actividades y operaciones necesarias para el proceso de producción.

Algunas características diferencian los sistemas de producción mejorados, de los sistemas tradicionales. Se logra una mayor proporción de tierra de cultivo mediante el sacrificio de pasto natural y bosque, que incrementa la cantidad de tierra dedicada a la producción de cereal y conservación de alimentos.

Una mayor proporción de alimentos proviene de leguminosas sembradas. Por ejemplo, 6 años de rotación trigo/avena/4 años de trébol subterráneo, significa que 4/6 partes de la tierra cultivable estarán ocupadas con leguminosas, entonces aumentar la tierra arable implica que podrá ser usada una mayor cantidad de terreno en producción del trébol subterráneo. Esto supone que se obtendrá una mayor cantidad y calidad de alimentos en verano, lo que permitirá aumentar la carga ganadera y ayudará a lograr mejores niveles de actuación del ganado, todo lo cual podrá dar lugar a un sistema de producción más beneficioso. En algunas condiciones favorables, existe la posibilidad de extender e intensificar aún más el proceso de producción, bien usando alimentación suplementaria para engorde y cebo de los animales, o bien trasladando el ganado a áreas regables, cuando ello sea posible y económico. A veces alguna clase de integración vertical puede también causar un intensificación.

Los sistemas de producción mejorados requieren mayores niveles de costes fijos en cuanto que se producen mayores inversiones de capital y el coste de la mano de obra podría ser más elevado.

En la figura 2 se reflejan algunas características de un sistema mejorado.

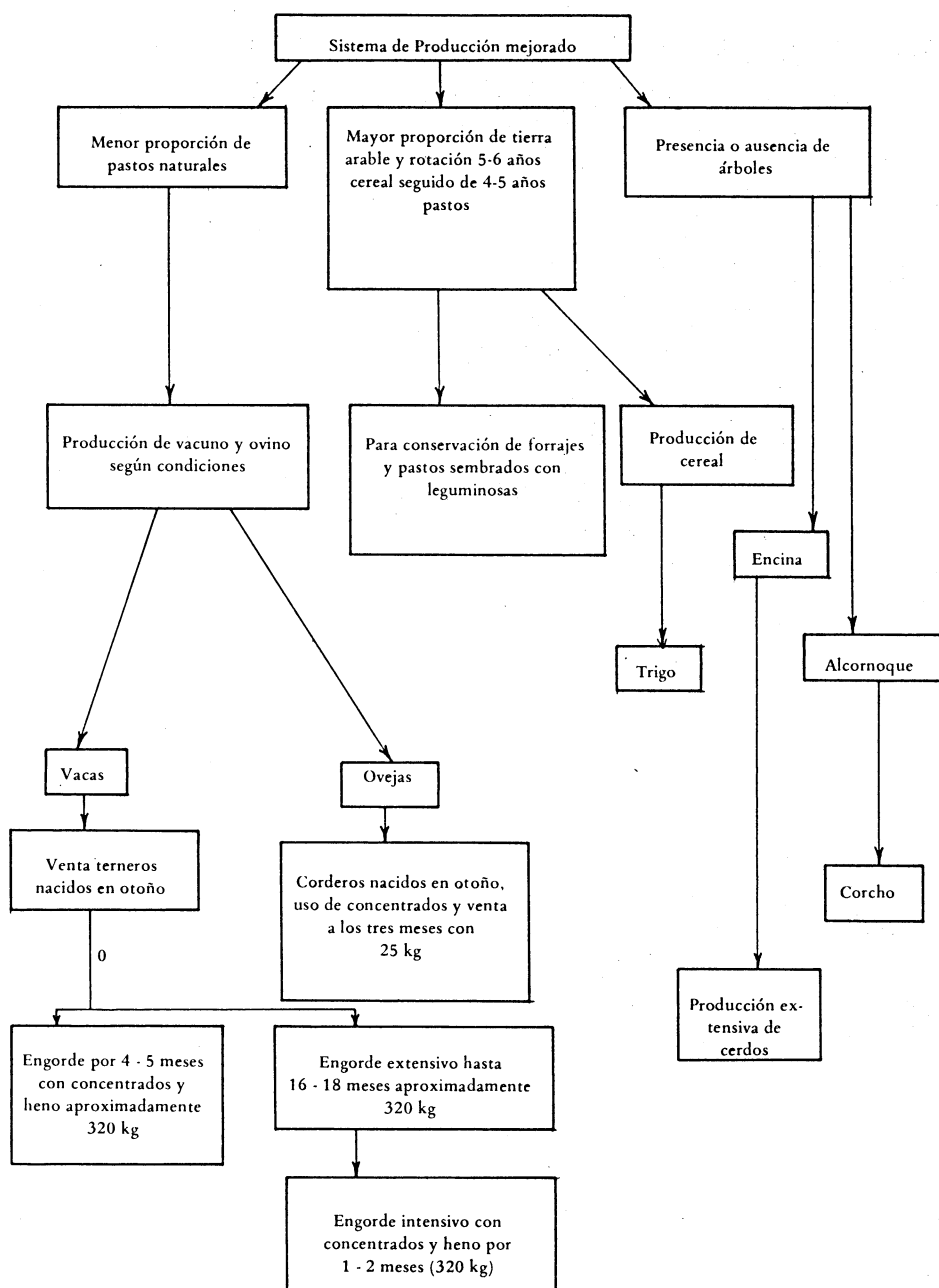


Figura 2.- Un Sistema de Producción mejorado

2. UN ENFOQUE DE SISTEMAS GENERAL Y COMPRENSIVO

2.1. La necesidad de un enfoque de sistemas

Un objetivo principal de este estudio es el conseguir el conocimiento de los efectos y consecuencias, inmediatas y futuras, en todo el sistema, al tomar algunas decisiones.

Los sistemas de producción agraria son complejos ya que envuelven muchos factores y componentes físicos y financieros que están interrelacionados.

Existen muchas relaciones y acciones recíprocas entre recursos, medio ambiente, componentes y su gestión.

Los sistemas en agricultura son de una naturaleza dinámica (dependiente del tiempo). Los procesos biológicos y económicos son dinámicos, debido no sólo a las variaciones estocásticas y a la dependencia del tiempo sino a los cambios de objetivos y actitudes de los agricultores y de la sociedad. Los objetivos, ambiciones y actitud frente al riesgo de los agricultores varían durante el curso de la vida. Los intereses nacionales, objetivos políticos y hábitos de consumo varían con el tiempo. Mientras algunos de los factores que afectan a los sistemas agrarios son incontrolables e implican incertidumbres, otros son controlables. Los agricultores pueden tomar decisiones en cuanto al uso de algunos factores o insumos pero tal decisión puede afectar a todo el sistema.

Estas complejidades de la producción agraria podrían ser entendidas y examinadas sólo mediante un método sistemático, y un enfoque de sistemas parece útil para estos fines ya que una comprensión de todo el sistema será al menos tan importante como el conocimiento de los componentes por separado (DENT y ANDERSON 1972) y porque el dinamismo y la dependencia del tiempo de los sistemas económicos y agrarios tienen significancia en su comportamiento y resultados.

2.2. Partes del sistema

Un sistema ha sido definido como un conjunto de partes coordinadas para obtener unos fines (CHURCHMAN 1968). Estas partes son sistemas componentes o subsistemas.

Este estudio trata principalmente de un sistema de pastoreo, o como ha sido llamado, un sistema suelo-planta-animal, el cual se desarrolla en un entorno compuesto por factores físicos, biológicos, económicos y sociales e implica sistemas componentes de naturaleza ecológica, biológica y económica. Se pueden considerar tres subsistemas convencionales en el sistema de producción agraria que estamos estudiando, en primer lugar, el subsistema de producción de hierba o cultivos, en segundo lugar, el subsistema de producción animal y finalmente, el subsistema económico.

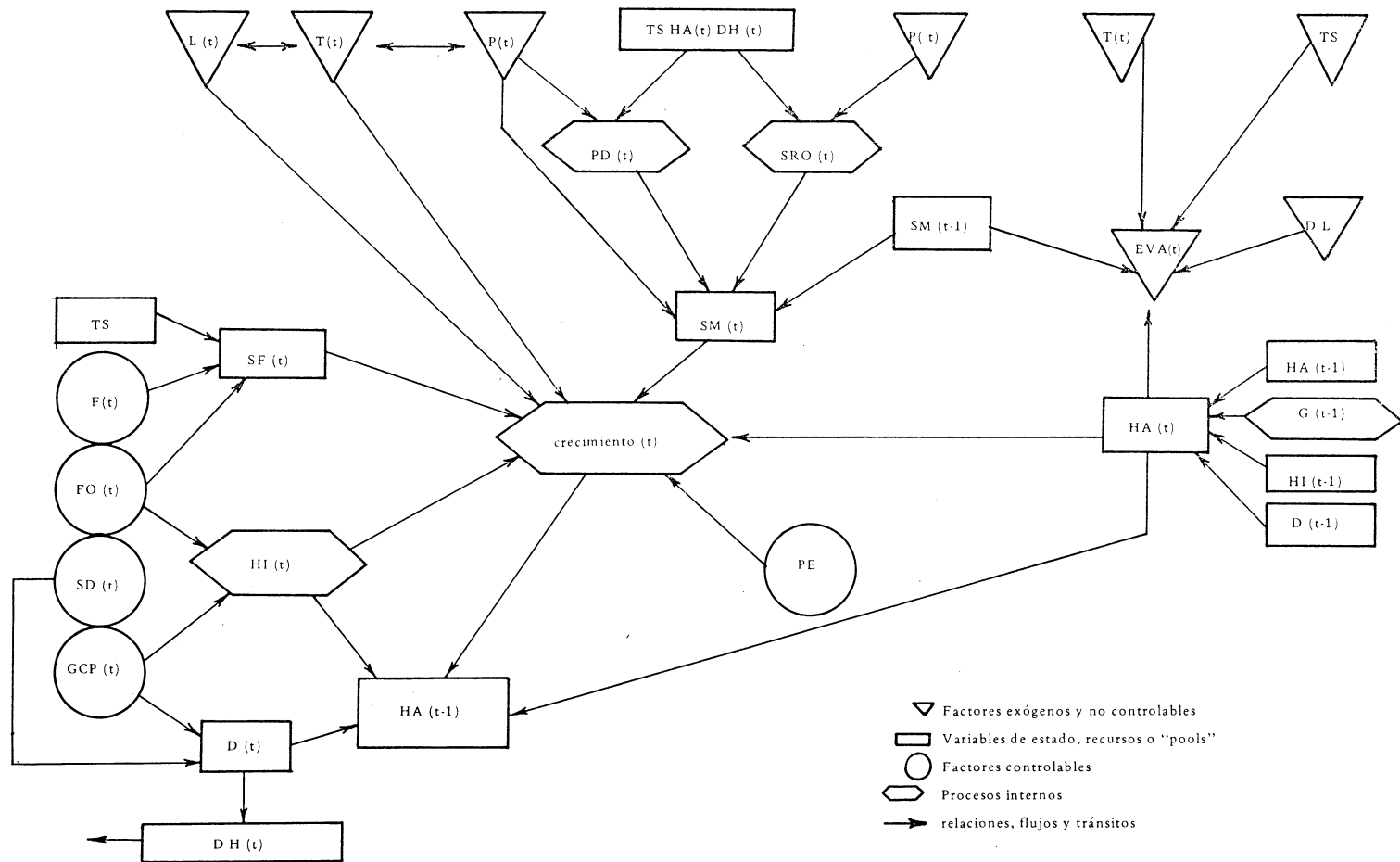


Figura 3.- Un diagrama modelo de un sistema de crecimiento y producción de hierba (Se describe en el texto y en el Cuadro 1)

2.2.1. El subsistema de producción de hierba.

La producción física de pastos o cultivos depende del crecimiento de la planta. Una característica principal del crecimiento vegetal es que viene afectado por muchos factores físicos y meteorológicos incontrolables, como el suelo y la climatología. El tipo y fertilidad del terreno afectará a la producción y la climatología vendrá definida principalmente por la temperatura, la luz, el abastecimiento de agua y sus variaciones estacionales. El crecimiento de la planta, dependiente de estos factores, determina, la producción total y estacional de los pastos, y es también afectado por la edad de la planta, la estación y la hierba presente en un momento dado.

Algunos factores pueden ser controlados por el agricultor y esto también afectará al crecimiento vegetal. Las prácticas de pastoreo y recolección o, lo que es lo mismo, la época, frecuencia e intensidad de la defoliación influirán en gran medida sobre el cociente de crecimiento. Cada especie de planta tiene diferente respuesta no sólo a los factores del suelo y climatología sino también a la defoliación, y mientras algunas disminuyen la producción normal como resultado de una defoliación otras no se ven afectadas o incluso pueden incrementar la producción. Al mismo tiempo la calidad de los pastos puede ser influenciada por el modo de pastoreo o recolección (SAVELLE *et al* 1970). Otro factor controlable por el agricultor es el uso de fertilizantes, que puede adelantar o retrasar la estación de crecimiento, acelerando e incrementando el ratio de crecimiento.

Los determinantes del crecimiento y producción vegetal pueden ser explicados mediante unos modelos dinámicos y dependientes del tiempo que podrían ser ecuaciones diferenciales de la forma:

$$\frac{dY}{dt} = f(Y, X_i)$$

donde:

$$Y = F(t) \text{ ó } Y = F(X_i, t)$$

$$\text{y } X_i = F(t) \text{ ó } X_i = F(Z_i, t)$$

que mostrarían las relaciones entre los factores.

Los factores y sus relaciones que intervienen en un subsistema de producción vegetal se expone de forma esquemática en la Fig. 3 y en el Cuadro 1.

El crecimiento puede ser una función de la temperatura (T), la luz (L), la humedad del suelo (SM), la hierba viva actual (HA), la hierba actual consumida por los animales o cortada para conservación (HI), la fertilidad del terreno (SF), y el tiempo (t). Al mismo tiempo la mayor parte de estas

FACTORES Y RELACIONES DE UN SUBSISTEMA DE CRECIMIENTO Y PRODUCCION DE HIERBA

$$SF = f(TS, F, FO, t)$$

variables dependen de otros factores y aunque algunos como la temperatura, la precipitación (P) y la luz son insumos exógenos y estocásticos, algunas interdependencias o correlaciones pueden ser asumidas junto con una dependencia del tiempo.

La humedad del suelo depende del agua almacenada actualmente en el terreno ($S_{Mt} - 1$), del suministro de agua por lluvia (P), de la percolación profunda o drenaje subterráneo (PD), de la escorrentía superficial (SRO), de la evapotranspiración (EVA) y del tiempo. Cada uno de estos factores son al mismo tiempo funciones de muchas otras variables (HUTCHINSON 1972), como se muestra en el Cuadro 1.

La hierba viva actual viene determinada, por lo que era anteriormente ($H_{At} - 1$) y por el actual crecimiento durante el intervalo de tiempo considerado, menos el consumo actual (HI) y las pérdidas debidas a la muerte de hierba (D). Estos dos factores (HI y D) dependen de la carga ganadera (SD), de las prácticas de pastoreo y recolección y del tiempo transcurrido.

Existe también una masa de materia vegetal muerta que puede ser disminuida por ingestión animal (DHU) y por descomposición (d).

La fertilidad del suelo es una función de tipo de terreno (TS) en cuanto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas y podría ser alterada por el uso de abonos, fertilizantes y mediante labores.

La hierba viva y muerta forma masas de materia seca o energía, que pueden ser ingeridas por animales y cuya cantidad disponible puede ser medida en términos de materia seca o energía.

2.2.2. El subsistema de producción animal

La hierba útil para consumo animal tiene un valor energético de acuerdo con el tipo de planta, estación, edad y oportunidad y frecuencias en la defoliación. La ingestión potencial de materia seca depende de la clase de animal, su peso y su estado en el ciclo de producción y será afectada por la calidad del alimento.

La calidad del pasto o forraje en términos de digestibilidad, sabor y energía metabolizable determina no sólo la ingestión actual de materia seca sino también los procesos de utilización de la energía por los animales.

Los animales en pastoreo comerán alimentos que provienen de los dos tipos de hierba, viva y muerta. En adición, el heno, ensilado o concentrado, proporcionará una fuente suplementaria de alimento. La dieta estará

formada por una combinación de estos alimentos y la energía metabolizable (ME), dependerá de la cantidad relativa de cada tipo de alimento en la dieta y de sus energías metabolizables respectivas.

El producto de la ingestión actual de materia seca, por la energía metabolizable de la dieta, dará la energía ingerida. La eficiencia en la utilización de esta energía es también una función de la calidad de la dieta y del estado en el ciclo de producción. Por ejemplo, un animal en período de lactación usará la energía metabolizable ingerida más eficientemente que un animal seco.

La clase de animal, el peso vivo y el estado en el ciclo de producción influenciará los requerimientos de energía metabolizable por cada animal. Se requiere energía para el mantenimiento de los procesos esenciales de la vida, el resto es usada para la producción, crecimiento, preñez y ganancia de peso (MAFF 1975).

Habrà una pérdida de peso si no se alcanzan los requerimientos de mantenimiento, y ello está también influenciado por la clase de animal y su estado fisiológico. La actuación del animal en términos de ganancia o pérdida de peso, salud, fertilidad y mortalidad estará afectada directamente por el balance de la ingestión y de los requerimientos de energía. Ello decidirá la condición final del animal, forzará la adopción de una determinada política de reposición y afectará también el resultado físico y financiero de la explotación, ya que es un proceso dinámico, ligado estrechamente con los subsistemas de producción de hierba y económico.

Un diagrama simplificado del flujo de este subsistema queda reflejado en la Figura 4. La descripción más detallada de los factores y sus relaciones se dará en el apartado cuarto cuando tratemos de la construcción del modelo.

2.2.3. El subsistema económico

Factores económicos tales como los precios y costes afectarán los resultados del negocio. Precio y coste pueden considerarse como factores de conversión para medir el valor monetario de las producciones e insumos y para convertirlos en una unidad común.

La mayor parte de los precios están fuera del control del agricultor, y junto con el mercado y los insumos disponibles, constituyen el entorno económico del sistema. Vienen determinados por la oferta y la demanda, o por la intervención gubernamental.

Los precios dependen del género y la calidad del producto, y varían según la estación y el tiempo.

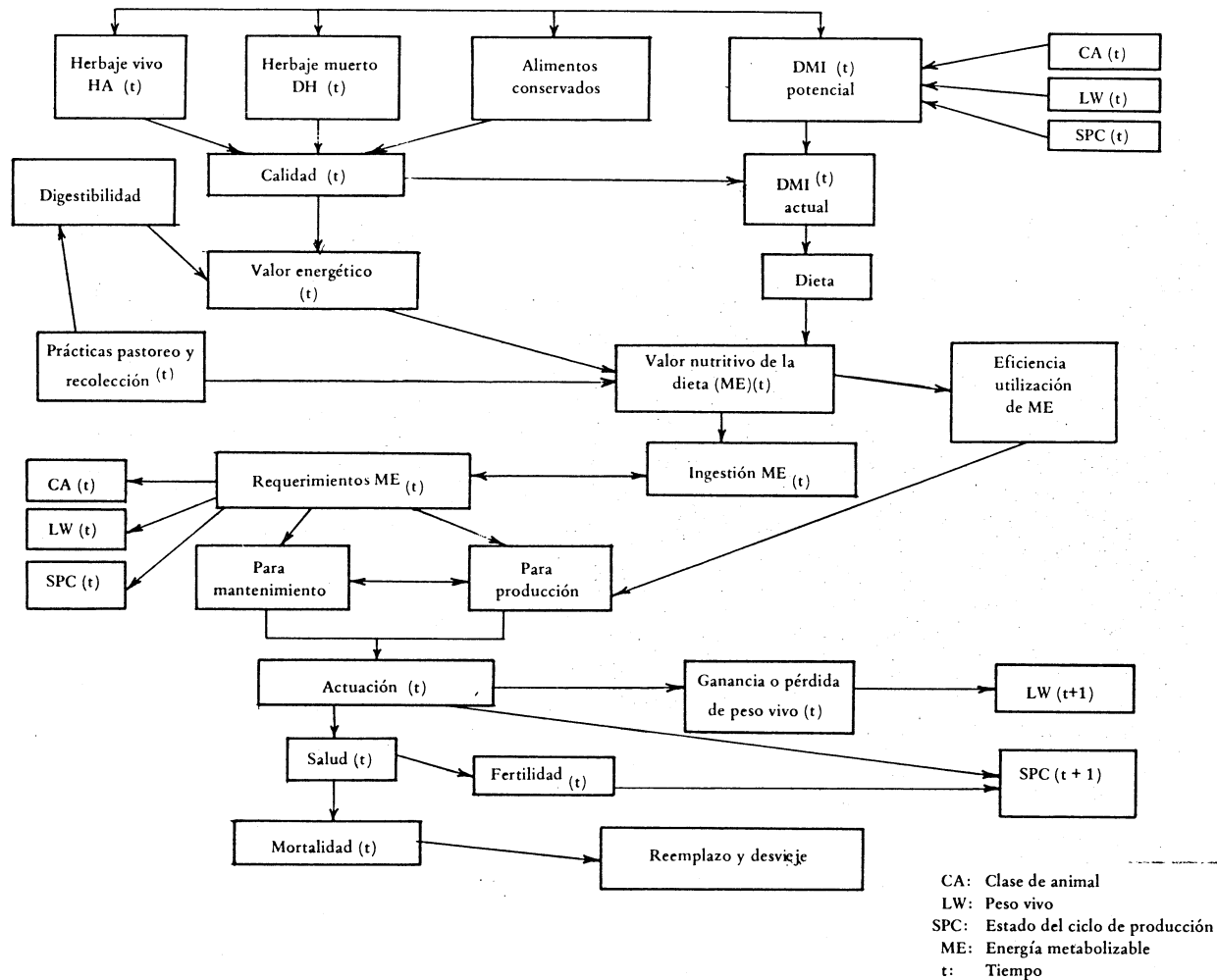


Figura 4.- Un diagrama modelo del subsistema de producción

A pesar de estas características, el agricultor puede controlar en cierto modo los precios que conseguirá por sus producciones o la cantidad que pagará por los insumos, en tanto que puede ajustar los procesos de producción para obtener la calidad apropiada, en el momento oportuno, cuando los precios sean más elevados, y puede decidir la compra de los insumos necesarios donde y cuando sus costos sean más bajos. Entre estos factores controlables que afectan los precios de la producción ganadera podemos enumerar, el tipo de animal, su peso, calidad, raza, edad, sexo, estación de producción y método de venta. Similarmente en la producción de los cultivos, la calidad y variedad afectará también los precios del producto y ello puede ser controlado por el agricultor.

Por otro lado, los insumos son evaluados por sus costes, y pueden obtenerse los gastos variables y fijos convencionales. El componente económico del sistema se discutirá con detalle en el apartado cuarto. Por lo anteriormente dicho está claro que estamos frente a un sistema bioeconómico. En el próximo apartado se explican las dificultades halladas al definir cuantitativamente y modelizar tal sistema, y las simplificaciones requeridas y sus razones.

3. METODO DE ESTUDIO

Una de las principales decisiones a tomar es la selección de un método apropiado para estudiar el sistema. Al comienzo de este apartado se pasará revista a temas tales como la información o datos disponibles, el coste y el tiempo necesario, que tienen que ser tomados en consideración cuando se decida el método o técnica a seguir; otros temas, tales como la naturaleza del problema a investigar, y la finalidad del estudio pueden ser más importantes. Algunos problemas encontrados al estudiar el sistema bioeconómico se reflejarán también aquí.

3.1. Datos e información, metodo adoptado y problemas

Hay dificultades para adquirir el conocimiento requerido para identificar y definir cuantitativamente los factores y las relaciones entre ellos, principalmente debido a los complejos procesos de naturaleza estocástica y dependientes del tiempo encerrados en cualquier sistema biológico y socio-económico (DENT y ANDERSON 1971).

La información disponible acerca de los factores y sus relaciones proviene normalmente de experiencias llevadas a cabo bajo condiciones particulares de medio ambiente y mediante cuestionarios sobre datos históricos. No se toman en consideración las razones de las variaciones que ocurren en el medio ambiente y en los procesos, causados bien por diferentes condiciones ecológicas y económicas o bien por su naturaleza estocástica y dependiente del tiempo.

Es improbable que los datos requeridos puedan ser recopilados para cada explotación particular que se pretende estudiar, ya que sería muy costoso y llevaría mucho tiempo. pero parece irreal extrapolar partiendo de unos resultados de un número limitado de experimentos y hacer unas conclusiones generales para ser usadas en cualquier entorno (BERNARD 1975).

Existe un alto grado de incertidumbre en un sistema bio-económico. Los elementos estocásticos de este género de sistemas pueden estar interrelacionados y puede existir dependencia entre sucesivos valores de un elemento (PHILLIPS 1971). Esto quiere decir que el número de observaciones y la complejidad de los análisis estadísticos necesarios para obtener probabilidades reales para evaluar tales incertidumbres pueden ser enormes, y que pueden surgir serias dificultades cuando el fin es especificar el tipo de relaciones que podrían existir entre diferentes factores. Por estas razones, el camino a adoptar en lo que concierne a la recopilación de datos para analizar un sistema dinámico y estocástico debe de ser flexible y hasta cierto punto subjetivo y aproximado.

Datos generales y conocimientos publicados pueden ser usados cuando los factores y sus relaciones han sido estudiados y bien definidos como para dar información precisa y fiable, o cuando no son influenciados significativamente por cambios estocásticos y del medio ambiente; sin embargo si los datos no están disponibles, una colección directa de datos sobre factores bio-económicos estocásticos y dinámicos podría extenderse sobre un período de tiempo inadmisiblemente. La estimación subjetiva de expertos podría ser útil y una vez que el modelo haya sido construido, puede ser usado para examinar su precisión. Esto sería verdaderamente más fácil y económico pero hay que tener cuidado cuando se adopte tal método para muchos parámetros y relaciones, ya que sería muy difícil descubrir que estimación es correcta o errónea. Se puede decir que es posible generar información referida a algunos parámetros o funciones examinando diferentes suposiciones con un modelo descriptivo (WRIGHT 1971).

3.2. El coste frente al beneficio de adquirir más información y conocimiento

Se ha pensado que a pesar de que podría ser de alguna manera técnicamente posible conseguir la información y conocimientos necesarios para estudiar detalladamente todos los factores envueltos en un sistema bio-económico y usar técnicas sofisticadas, su utilidad podría ser dudosa a menos que el beneficio esperado exceda al coste. En cualquier caso evaluar tal beneficio podría ser un trabajo muy difícil y habrá que tener en cuenta que los medios disponibles para experimentos e investigación son escasos. Esto quiere decir que lo fundamental será buscar información y conocimientos en los campos o componentes del sistema más relevantes y establecer prioridades para investigación en las áreas más importantes y sensibles de acuerdo con la disponibilidad de los recursos en términos económicos, de cualificación del personal investigador y de tiempo.

3.3. La urgencia del problema y la precisión requerida

La cantidad y calidad de datos e información que podrían ser recogidos y la metodología a usar, dependerán también del tiempo disponible. Los agricultores no pueden esperar mucho tiempo hasta encontrar una solución a sus problemas, pero cuanto más realista y precisas son las soluciones deseadas, más tiempo se requiere. Por ejemplo, si se pretende utilizar un modelo dinámico y estocástico para estudiar un problema, el número de observaciones requeridas para recoger los datos necesarios para el cálculo de la distribución de las probabilidades será más grande. En caso de no disponer de esos datos serían necesarios muchos años para generarlos (TREBECK 1972).

Las alternativas son, o bien usar datos actuales y métodos que dieran una aproximación razonable para resolver el problema, o bien esperar hasta obtener datos y métodos más precisos. El agricultor o el hombre de negocios preferirá normalmente la primera alternativa (REEVES y WILLOUGHBY 1972).

3.4. La finalidad del estudio

Se mencionó en la introducción el tipo de problema que este estudio intenta investigar. En primer lugar, la viabilidad ecológica del sistema es algo a comprobar. Una vez que el rango de sistemas factibles sea conocido otros factores harán que ellos sean más o menos beneficiosos y cuando se disponga de un número de alternativas y sus resultados, será posible clasificar los planes de acuerdo con algunos criterios.

La estructura y características del modelo deben convenir a la finalidad para la que ha sido construido, o lo que es lo mismo, que la finalidad del modelo debe corresponder con los objetivos del estudio (SPEDDING 1976).

Esto quiere decir que ambos deben confundirse y podemos reducirlo a los siguientes puntos:

- a) Analizar los factores que afectan al sistema, y su importancia relativa.
- b) Examinar diferentes suposiciones o hipótesis referidas a los factores y sus relaciones, y la sensibilidad del modelo hacia ellos.
- c) Estudiar los efectos de algunas decisiones en el comportamiento del sistema.
- d) Comparar los resultados de los diferentes planes y cambios llevados a cabo en el sistema de producción agraria.
- e) Sintetizar los "sistemas nuevos" que podrían resultar cuando se aplican nuevas tecnologías y métodos de producción.

- f) Evaluar las implicaciones dinámicas y a largo plazo de las diferentes suposiciones, decisiones y planes.
- g) Desarrollar un método para asistir a los agricultores, técnicos e investigadores, cuando se considere el sistema como un todo.

3.5. La selección del método

Tratamos seguidamente de las varias técnicas útiles para estudiar el sistema, así como de las ventajas y desventajas de cada una de ellas según nuestro entender y propósito.

3.5.1. *Experimentación con el sistema real*

La experimentación con un sistema real complejo es cara o difícil de llevar a cabo y, por ello, la mayor parte de los trabajos de investigación tratan de partes pequeñas del proceso de producción aisladas del sistema como un todo. El estudio de los factores interrelacionados en la mayoría de los sistemas agrarios demanda una gran cantidad de recursos físicos, económicos, técnicos y de personal investigador. Las observaciones y estudios tienen que prolongarse por largo tiempo y es imprevisible el resultado positivo de ellos. Debido a estas características, los investigadores de Universidades y Centros de Investigación sienten aversión a la experimentación con todo un sistema de producción agraria.

El número de sistemas y cambios dentro del sistema es tan enorme que no es físicamente posible investigar todos ellos. Se deben limitar a las áreas importantes y sensibles donde la información se necesita urgentemente (SPEDDING 1971). El problema es saber cuales son esos componentes y factores importantes, pero incluso cuando puedan ser conocidos se tienen que investigar las acciones recíprocas entre los mismos.

Las interdependencias y las acciones solapadas dentro del sistema y el efecto de muchos elementos estocásticos que actúan conjuntamente, haría imposible el lograr conclusiones con sentido a la hora de analizar los resultados, en el tiempo y con los recursos normalmente disponibles.

Los sistemas de producción agraria son difíciles de manejar para fines experimentales pues están afectados por muchos factores incontrolables e inmensurables, o la observación y su medida pueden alterar el sistema real (WRIGHT 1971).

Deberían hacerse algunos estudios antes de abordar la experimentación de todo un sistema real, si se quiere sacar de él conclusiones útiles.

Cuanto más información posible se posea en términos de factores, sus variaciones e interrelaciones y sus efectos en el comportamiento de todo el sistema más fácil será el diseño de un experimento, incluso cuando sean sólo aproximaciones. La experimentación es entonces simplificada, considerando sólo los efectos cuantitativamente importantes y se convierten en un test de los supuestos o hipótesis basados en la información previa.

Se puede afirmar que lo ideal sería la experimentación física con el modelo real, pero impedimentos de recursos y tiempo obligan a usar métodos complementarios que reduzcan el coste y el tiempo que sería necesario para lograr la información y comprensión del sistema para resolver los problemas de la toma de decisiones.

3.5.2. Métodos descriptivos o cualitativos

Una aproximación descriptiva al sistema podría ayudar en los procesos de definirlos e identificar sus componentes y relaciones, pero se necesitará un método cuantitativo para fijar su importancia relativa dentro del sistema y para medir los efectos de los factores variables sobre el mismo.

3.5.3. Métodos manuales de calculo

La complejidad y el número de cálculos que se necesitan hace impensable el uso de algún método de cálculo manual como sería un presupuesto o "programa planning", aún en el caso que fueran técnicamente apropiados para el fin de este estudio, pero no lo son.

3.5.4. Métodos cuantitativos usando modelos matematicos mediante ordenador

Sepodrían utilizar métodos analíticos, tales como técnicas de programación lineal, basados en un algoritmo matemático que se resolviera con ordenador. Las técnicas de programación lineal tratan de hallar la mejor asignación de los recursos que en un momento determinado maximizan o minimizan una función objetivo. Para nuestro estudio son significativas las críticas hechas normalmente a estos métodos de optimización (BARNARD y NIX 1973).

La dificultad que supone definir una función objetivo que se pretende optimizar se agrava en este caso puesto que el sistema agrícola con el que estamos enfrentados está afectado por enormes riesgos e incertidumbres, que para un agricultor son a veces más relevantes que la cantidad de beneficios que podría lograr en un determinado momento. Para algunos agricultores su objetivo consistiría más en mantener unos ingresos aceptables y evitar resultados desastrosos, que en obtener el más alto nivel posible de beneficios.

El problema de definir una función objetivo permanece y puede volverse aún más difícil si se usa la programación lineal junto a técnicas complementarias, tales como métodos Monte-Carlo, multi-período, recursivo o dinámicos que permiten la representación de procesos dinámicos y estocásticos y por lo tanto alcanzan mayor realismo (DILLON 1971). Al mismo tiempo, pueden surgir otras dificultades como consecuencia de intentar estimar las incertidumbres y variabilidades de los resultados para el futuro en términos de producciones y precios (WHITE 1972). Muy frecuentemente se trata de eludir este problema, porque la predicción de que los hechos ocurran, o el cálculo de probabilidad, es un trabajo difícil y que lleva mucho tiempo.

El dinamismo del sistema implica que la solución óptima en un momento determinado en el tiempo, podría convertirse en un contrasentido con el paso del mismo y cuando las condiciones físicas y económicas cambien.

Las relaciones lineales asumidas en las técnicas de programación lineal pueden producir un modelo irreal y rígido, inútil para representar procesos biológicos. La falta de flexibilidad fuerza la introducción en el modelo de simplificaciones o de restricciones artificiales. Cualquier fórmula para superar la falta de dinamismo y flexibilidad o para permitir cambios o decisiones discretas (programación por números enteros), y más realismo, implica una matriz muy grande y un coste elevado cuando el sistema es complejo (CHARLTON 1973), y cuando se necesita una técnica flexible para examinar diferentes suposiciones o hipótesis como en nuestro caso.

Por otro lado, tendremos que reconocer el mérito de las técnicas de programación lineal como ayuda para decidir objetivos y planes a largo plazo para unas condiciones determinadas y como método analítico de los factores económicos; pero para un estudio detallado a nivel de explotación en la vida real, donde se combinan factores biológicos y económicos, las relaciones lineales no pueden ser asumidas. Al mismo tiempo es lícito suponer que el agricultor pondrá en práctica un nuevo plan por etapas y que durante este período puedan ocurrir cambios que influirán en sus decisiones.

Algunos problemas se dejan sin solución, como por ejemplo, por donde empezar a implantar un nuevo plan y establecer unas prioridades secuenciales, o cuales van a ser los efectos a corto plazo de estas decisiones parciales y dependientes del tiempo. Es, por lo tanto, más real suponer que el agricultor intentará mejorar su explotación por medio de decisiones a corto plazo y con pequeños cambios en el sistema, y será reacio a hacer drásticas transformaciones porque podrían envolver gran riesgo y por el temor debido a su falta de experiencia en el nuevo sistema y las incertidumbres de sus resultados futuros. Intentará encontrar un plan mejor, más bien que uno óptimo.

3.6. El método de la simulación

Este enfoque intenta representar su sistema y su comportamiento en el tiempo por medio de modelos físicos o matemáticos. Nuestro interés está en el desarrollo de un modelo matemático computarizado, conveniente para expresar y resolver los problemas que hemos identificado. La simulación no se ocupa de la optimización de una función objetivo, sino del comportamiento dinámico y estocástico de un sistema bajo un conjunto de condiciones y suposiciones dadas. Puede ser usada para encontrar una respuesta a la pregunta: "¿que pasaría si.....? .

Una de las ventajas de un modelo de simulación es que puede ser comprendido intuitivamente y los procesos secuenciales son similares a aquellos de un sistema real. La simulación, por otra parte, no es una técnica de optimización y evita los problemas de definir una función objetivo a maximizar. Con ella, además, es posible representar procesos estocásticos y dinámicos, relaciones no lineales y sistemas complejos más fácilmente que usando otras técnicas con rígidos algoritmos matemáticos ya que la simulación es una técnica más flexible (CHARLTON y THOMPSON 1970). Es más fácil incorporar variables discretas y recursivas, y relaciones de retroacción ("feedback") en el modelo.

Finalmente, el estudio de un sistema mediante simulación puede animar a la cooperación y comunicación interdisciplinaria que ha faltado a la hora de tratar los asuntos agrarios en el pasado (DENT y ANDERSON 1971).

Entre los problemas y desventajas de la simulación se incluye el que se necesitan ciertos conocimientos matemáticos y de lenguaje de ordenador (ARMSTRONG 1972), aunque el lenguaje apropiado dependerá principalmente de las facilidades y conocimientos del programador (CHARLTON 1971).

Existen muchas dificultades para validar cualquier modelo bio-económico y la introducción de muchas variables estocásticas hace casi imposible la tarea de analizar los resultados y validar un modelo (DENT y ANDERSON 1971). En estos casos la validación tiene que ser reducida a juicios subjetivos o intuitivos, particularmente cuando no hay datos suficientes de un sistema real para comparar, o si es un nuevo sistema sintetizado (WRIGHT 1971). Este problema ha sido evitado porque las variables estocásticas no son incluidas explícitamente en el modelo pero pueden incorporarse usando inputs al azar cuyas posibilidades han sido probadas previamente (CHARLTON 1973).

La falta de conocimiento de los factores y sus relaciones obliga a simplificar el modelo como en cualquier otra técnica, pero la flexibilidad de la simulación permite el examinar las diferentes hipótesis y suposiciones. En cualquier caso la simplificación adoptada decidirá los límites y la extensión del modelo, y, por tanto, la posibilidad de conseguir sus objetivos. Existen otros problemas debidos al uso de ordenadores digitales y de la integración numérica de las ecuaciones

diferenciales, las cuales se usan normalmente para construir modelos dependientes del tiempo. Los sistemas bio-económicos cambian con el tiempo bien de forma continua bien siguiendo una determinada secuencia y de forma discreta. Como los ordenadores digitales sólo pueden tratar con cambios discretos en los valores variables, ambos cambios, continuos y discretos, deben ser representados de la misma manera, lo que quiere decir que se comete un error debido a la aproximación producida cuando se avanza el tiempo discretamente en un proceso continuo. La magnitud del error cometido depende de la unidad de tiempo usada para avanzar el modelo, y cuanto más pequeño sea el intervalo de tiempo mayor es la precisión obtenida, pero afectará al costo en términos de tiempo de la computadora (CHARLTON y STREET 1970).

Por último, se debe considerar que un estudio de simulación es caro y necesita mucho tiempo y conocimiento. Si un sistema es muy complejo debido al número de factores y sus interrelaciones, o debido a su naturaleza dinámica y estocástica (los cuales no son muy a menudo bien conocidos), se tiene que aceptar que el modelo es sólo una aproximación del sistema real y no se debe pretender que los resultados cuantitativos del modelo sean absolutamente precisos. Pero si se consigue una aproximación suficiente para permitir obtener un mejor entendimiento cualitativo del comportamiento del sistema, sus sensibilidades y la importancia relativa de cada factor, siendo estos los objetivos del estudio, el uso de un modelo de simulación estará justificado asumiendo que el beneficio derivado pueda compensar su costo.

Se puede sugerir que a pesar de la aproximación resultante y otras dificultades, la simulación parece ser el método más apropiado para estudiar este complejo sistema de variables dependientes del tiempo y estocásticas, y que su flexibilidad la hace adecuada para los objetivos de este estudio y los problemas a investigar.

4. LA CONSTRUCCION DEL MODELO

Esta sección trata de la construcción del modelo en términos de identificar las relaciones existentes y su representación matemática. Más tarde será necesario programar el modelo para operar con ordenador y se ha decidido usar un lenguaje algebraico de propósito general (FORTRAN).

4.1. Los modelos matemáticos

La representación matemática de las relaciones de los factores dependientes del tiempo se logra en el modelo por medio de varias ecuaciones diferenciales de la forma general.

$$\frac{dY}{dt} = f(Y, X_i, t)$$

la variable dependiente es función del tiempo (t) su valor previo (Y) y otros factores (X_i)

$$Y = Y(Y, X_i, t)$$

$$X_i = f(t).$$

siendo dt la unidad de tiempo usada para avanzar al modelo paso a paso. La integración numérica de estas ecuaciones diferenciales dará valores nuevos a la variable dependiente. Más abajo se explican algunas de las principales ecuaciones diferenciales usadas en el modelo. Los apéndices 1 y 2 mostrarán más detalles.

4.2. Partes del modelo, fuentes, supuestos y simplificaciones

Se ha intentado seguir el mismo enfoque lógico que en el apartado 2, y similarmente, se pueden distinguir tres partes; los diagramas del modelo que allí se mostraban, así como la gráfica de flujos de la figura 5 pueden dar una idea de la estructura del modelo matemático.

Se tuvieron que hacer varias simplificaciones, bien porque se consideró innecesario mayores detalles para la finalidad del modelo, bien porque los datos para modelar no estaban disponibles. Desafortunadamente algunos datos no eran asequibles y se hicieron algunas suposiciones subjetivas que sin embargo fueron estudiadas concienzudamente con el modelo por medio de métodos de tanteo, escogiéndose los más reales y estudiando sus sensibilidades (se explicarán algunos ejemplos en la próxima sección).

4.3. Las entradas del modelo

Consisten en constantes, parámetros y variables y expresan bien los valores impuestos por el medio ambiente (por ejemplo, producción, EM de los alimentos, precios, etc.), bien las decisiones tomadas por el agricultor. Las variables pueden ser seleccionadas al azar de una distribución de frecuencias supuestas o calculadas, y algunas de estas variables se incluyen en las entradas con la finalidad explícita de estudiar los diferentes valores asumidos.

4.3.1. Rotación y uso del terreno

La superficie total de la explotación se puede dividir en terreno arable y no arable. Se adoptó una rotación, quedando determinado el uso del terreno en término de pasto natural sobre el terreno no arable, pasto sembrado o pradera cultivada para pasto y cultivo. El tipo de pradera cultivada para pasto y los cultivos se establecen a priori e introducen explícitamente en el modelo.

4.3.2. Producción total y disponibilidad estacional de pasto

Se estableció la producción de pasto o de los cultivos por hectárea, existiendo la posibilidad bien de usar un valor determinístico, bien de generar valores al azar a partir de una curva normal de distribución de frecuencia, cuyos parámetros de localización y distribución se estiman como veremos más adelante. La manera de determinar la disponibilidad

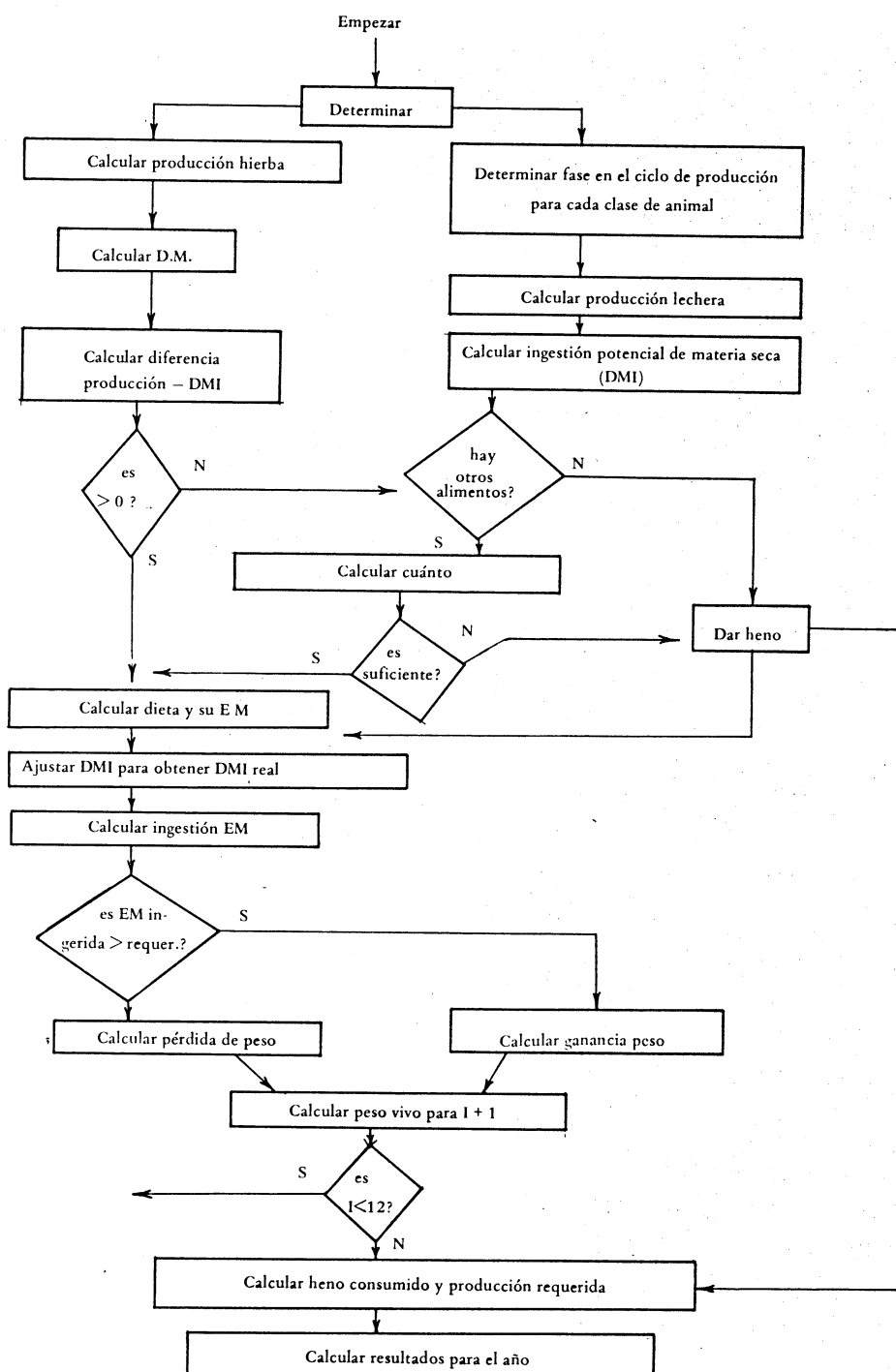


Figura 5.- Un diagrama simplificado de flujos del modelo

	UL	PH	PM%											
	hectáreas	kg DM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pasto natural	100	1.000	3	3	10	21	31	22	0	0	0	0	6	4
Pasto, avena (trebol sembrado	100	2.500	20	25	20	16	13	6	0	0	0	0	0	0
Trebol subterráneo	436	3.000	2	2	10	20	30	20	0	0	0	0	9	7
Veza avena	5	4.500	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Trigo	109	1.700	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0
	769													

Fig. 6. Uso de la tierra, producción total por hectárea y distribución estacional de la producción de pastos. Es una rotación de 6 años (cereal/cereal—pasto/4 años de trébol subterráneo)

estacional del pasto se explicará en el párrafo 4.4. Se puede decidir usar el rastrojo del cereal en un mes determinado y entonces su cantidad viene dada como tanto por ciento del producto del cultivo.

En la Figura 6 se presenta un ejemplo de las entradas en el modelo del uso de la tierra y producciones.

4.3.3. *Energía metabolizable de los alimentos (EM)*

Se especifica el valor nutritivo de cada género de alimento en términos de energía metabolizable (EM). Estos son valores medios potenciales y, dentro del dinamismo del modelo, la EM real ingerida por cada animal en cada mes puede cambiar de acuerdo con muchos factores que serán discutidos más tarde.

4.3.4. *Coefficientes de descomposición y depreciación (DK_1 y DK_2)*

Es difícil estimar las pérdidas debidas a los factores climáticos, al pisoteo, animales salvajes, etc. Es evidente que existe un deterioro del pasto y que decrece la cantidad útil de alimento y su calidad con el paso del tiempo, al margen del consumo animal. Se podría considerar dos tipos diferentes de deterioro, uno en términos de desaparición de materia seca y otro en término de reducción de digestibilidad y valor nutritivo. Se hicieron muchas suposiciones que serán examinadas con el modelo.

Algunos factores estacionales influyen en el grado de deterioro. Se supuso que la desaparición de materia seca podría ser superior durante la estación húmeda considerandose algunas series de parámetros y estudiando la sensibilidad del modelo frente a ellos, todo lo cual será examinado en la próxima sección. Similarmente, existe una reducción en el valor nutritivo del alimento debido a la madurez o vejez del pasto. La proporción relativa de gramíneas y leguminosas es relevante, ya que mientras las gramíneas se deterioran rápidamente, las leguminosas mantienen su calidad cuando maduran. Estas características se toman en consideración dentro del modelo, usándose unos coeficientes (DK_1 y DK_2) para estudiar las relaciones asumidas.

4.3.5. *Una matriz para expresar el número y clase de animales y su actuación (PF)*

Se fija el número de animales por el tamaño del rebaño, es decir los animales reproductores y las crías. El número de los primeros puede decidirse por el agricultor pero la actuación de los animales en cuanto al nivel de fertilidad y mortandad, conjuntamente con la política de desvío y reposición, determinará el número, clase y edad de las crías. La manada y el rebaño se componen de animales adultos y jóvenes, cada uno de ellos

en un estado diferente en su ciclo de producción que se clasifican de acuerdo con esta característica, estableciéndose las siguientes clases de animales, ocho para vacuno y cinco para ovejas:

1. Vacas con período de preñez y lactancia.
2. Vacas con preñez pero perdido el ternero.
3. Vacas infértiles.
4. Toros.
5. Terneros menores de 12 meses.
6. Animales jóvenes, 1–2 años de edad.
7. Reposición mayores de 18 meses.
8. Vaquillas en la primera preñez.
9. Ovejas en período de preñez y lactancia.
10. Ovejas sin período de preñez y lactancia.
11. Carneros.
12. Corderos y reposición menores de 1 año.
13. Reemplazos mayores de 1 año de edad.

Algunos de estos animales se transfieren de una a otra clase con el tiempo y de acuerdo con una actuación esperada.

Para cada mes, los grupos de animales se expresan como porcentaje de los animales de crianza y se construye a partir de ahí una matriz donde las columnas representan las clases de animales y las filas el mes del año. La información requerida para construir esta matriz viene de un registro mensual del número de cabezas de ganado, donde el número de animales nacidos, comprados, vendidos o muertos se expresan por cada mes y género de animal, por lo que, los índices de mortalidad, fertilidad, desviaje y reposición se tienen implícitamente en consideración. Se podrían usar tales estimaciones basadas en esta información cuando el fin es analizar un sistema nuevo del cual no existen datos de utilidad pero se debe tener cuidado porque la salud general y las condiciones del animal afectarán grandemente su actuación, lo que podría ser aceptable sólo cuando la salud de los animales y el peso se mantienen dentro de un intervalo razonable y se pueda asumir que los cambios en el sistema original no afectan el nivel de actuación. (La matriz de la figura 7 es un ejemplo de este tipo de entrada).

CLASES DE ANIMALES

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Enero	89	2	8	2	89	87	12	0	97	3	3	0	18
Febrero	89	2	8	2	89	87	0	12	95	4	3	0	18
Marzo	89	2	8	2	89	87	0	12	94	5	3	0	18
Abril	88	2	8	2	89	87	0	12	93	6	3	0	18
Mayo	88	2	8	2	88	75	12	12	102	0	3	19	0
Junio	88	2	8	2	88	75	12	12	101	0	3	19	0
Julio	93	0	8	2	88	0	12	0	191	0	1	19	0
Agosto	93	0	8	2	88	0	12	0	101	0	3	19	0
Sept.	93	0	8	2	88	0	12	0	98	3	3	19	9
Octub.	92	0	8	2	88	0	12	0	97	3	3	18	0
Nov.	92	0	8	2	88	0	12	0	97	3	3	18	0
Dic.	90	2	8	2	90	87	12	0	97	3	3	18	0

Indíces	Vacuno	Ovino
Mortalidad	3%	4%
Fertilidad	90%	96%
Reemplazos	12%	18%
Desviaje	9%	15%

Fig. 7. Matriz expresando el número de animales, clases y actuación como porcentajes de las hembras reproductoras.

4.3.6. Fechas de parto para vacas y ovejas (KALD y LAMD)

Establecen el mes en que nacen mayor parte de los animales y están ligadas estrechamente con la matriz descrita en el último párrafo.

4.3.7. Punto de producción máxima de la vaca (YP)

Para alcanzar la producción potencial de leche por vaca se necesita una ingestión que cubra los requerimientos de energía metabolizable, y como la ingestión depende de la calidad del alimento útil, se pensó que deben corresponder para que el sistema sea factible. La producción lechera está relacionada con el punto máximo de producción y podría ser calculada a partir de ella si se conoce la curva de lactación. El objetivo de incorporarlo como una entrada del modelo es para estudiar el efecto de estos factores en la posibilidad física del sistema, y para evaluar la utilidad de una mayor producción lechera potencial del ganado.

4.3.8. *Peso vivo inicial (W)*

Queda establecido para cada clase de animal y es el punto de comienzo desde el cual el modelo generará pesos vivos futuros.

4.3.9. *Número de animales reproductores y precios por unidad, y sus costes variables por cabeza (P)*

Las entradas siguientes se reflejan en estas dos columnas, una para vacuno y otra lanar, proporcionando algunas cifras, como ejemplo.

	VAC.	LANAR
1. Número de animales reproductores (vaca y oveja)	46	1.800
2. Fecha de desviaje	6	6
3. Fecha de venta (terneros o corderos)	7	5
4. Porcentaje de desviaje	9	15
5. Animales vendidos (como p.100 de animales reproductores)	75	74
6. Precios de animales de desvieje (pta/kg)	35	30
7. Precios de terneros o corderos (ptas/kg)	60	65
8. Porcentaje de toros y carneros	2	3
9. Amortización por toro o carnero anual (ptas.)	10.400	1.000
10. Costes variables por cabeza (pta/vaca u oveja)	150	122
11. Ingresos por lana por oveja	—	55

4.3.10. *Clase de animal para vender (JK y JKK)*

Con este género de entrada se intenta dar mayor flexibilidad a la hora de seleccionar qué animales van a ser vendidos. Por ejemplo, afirmará si los becerros son vendidos al destete o a los 18 meses y ello está ligado con las entradas 2 y 3 descritas en el párrafo 4.3.9.

4.3.11. *Precios de productos de los cultivos (PC)*

Estas entradas simplemente fijan los precios por kilogramo de trigo, paja y cualquier otro tipo de producto a vender, los cuales pueden ser seleccionados de manera determinística y/o estocástica.

4.3.12. *Costos variables por hectárea (CP).*

El uso del terreno puede variar de acuerdo a la rotación, variedades y cultivos adoptados, así se dan los costos variables por hectárea para cada actividad. La composición detallada de las entradas financieras se mostrarán en el apéndice 2.

4.4. Submodelo de producción de hierba.

Ha sido simplificado, fijando y dando como entrada la cantidad de pasto útil para consumo en cada período de tiempo (en nuestro modelo, un mes).

En primer lugar se da la rotación o número de hectareas dedicadas a cada uso (el terreno en pastos naturales y artificiales, y cultivos). En segundo lugar, la producción total por hectárea para cada uno de ellos se establecen explícitamente por medio de las entradas del modelo, existiendo la posibilidad de fijarlos de forma aleatoria. En tercer lugar, se da también una distribución, descrita en términos de tantos por ciento mensuales, para estimar el pasto útil cada mes con relación a la producción total. Estas son estimaciones subjetivas de expertos e investigadores en el área.

Las curvas de crecimiento vienen de esta manera sustituidas por medio de dicho procedimiento, que reconocemos discutible. Las razones son, por un lado, las dificultades encontradas para obtener curvas de crecimiento de confianza que permiten ser usadas en el modelo, principalmente porque afectan al crecimiento demasiados factores dependientes del azar y cuantitativamente desconocidos, debiendo tener asimismo en cuenta el efecto de los diferentes sistemas de pastoreo. Por otra parte se pensó que ésta simplificación no sería muy grave ya que una característica importante del sistema bajo estudio, es que se produce un tanto por ciento relativamente alto de leguminosas, especialmente trébol subterráneo, y es bien sabido que los sistemas de pastoreo y defoliación tienen poco efecto en su crecimiento (DAVISON *et al.*, 1970), y su valor nutritivo se mantiene casi constante con el paso del tiempo (MILFORD y MINSON 1966). Se experimentó con el modelo para estudiar los efectos de tales supuestos y sus sensibilidades.

Se calcula la cantidad de cada clase de pasto fresco útil, y se forma, un "pool" de hierba verde. Si existe un exceso, con el paso del tiempo se formará un "pool" de hierba muerta. Una proporción de este alimento se deteriorará y descompondrá, pero habrá una cantidad relativamente grande que será consumida por los animales algunos meses más tarde.

Se asume que los animales preferirían y comerán en primer lugar la hierba joven y fresca, la cual es probablemente la de mayor digestibilidad y valor nutritivo, existiendo, una frecuencia de pastoreo vacuno seguido de lanar, cuando este sea el caso.

4.4.1. Producción de pasto y energía

La producción de hierba verde (TPM) en término de materia seca de un tipo particular de alimento (L) durante un intervalo de tiempo (dt) se calcula mediante la ecuación:

$$\frac{d(TPM_L)}{dt} = UL \times PH_L \times PM_t$$

donde:

UL = ha de terreno dedicadas a la producción del alimento L.

PH = Producción de materia seca por ha

PM = Producción de PH útil para consumo durante el tiempo dt.

La energía metabolizable contenida en TPM_L (EPM_L) para el período dt será:

$$\frac{d(EPM_L)}{dt} = EV_L \times \frac{d(TPM_L)}{dt}$$

dt = un mes

EV = Energía metabolizable del alimento.

Un "pool" de hierba viva (SUMTP) se forma por la adición de cada uno de los TPM_L para las L clases de pastos.

$$SUMTP = \sum TPM_L$$

SUMTP es el total de hierba verde producido y listo para consumo durante el período dt. Se supone que es el preferido por los animales y consumido en primer lugar. La energía metabolizable contenida en él será:

$$EDG = \sum EPM_L / \sum TPM_L$$

La ingestión de materia seca por cada clase de animales (J) durante el tiempo dt es DMI_j, dt y la ingestión total de materia seca será:

$$SUMI = \sum_{j=1}^{13} DMI_j, dt$$

y la diferencia $D = SUMTP - SUMI$ se calculará, dándonos la cantidad de pasto fresco usado en el período dt.

Si D es negativo, tendrá que ser consumida la hierba producida en períodos anteriores o algún heno, en caso contrario, la diferencia D se añadirá a otro "pool" de hierba muerta (DH) para ser usada más tarde.

4.4.2. La dieta

Se compone de D sólo si $D \geq 0$; cuando $D < 0$ y $DH > 0$, la dieta consistirá en la cantidad de SUMTP y DH consumido (DHU) hasta igualar SUMI.

De nuevo, si $DH < 0$, se habrá consumido algún heno y debe ser incluido en la dieta calculada.

4.5. Submodelo de producción animal

Se basa en datos y trabajos publicados. Usa principalmente el sistema de energía metabolizable (EM) como se describe en, (MAFF, 1975). Se toman en consideración los principios de este sistema y las relaciones establecidas en dicha publicación. El modelo usa un gran número de ecuaciones matemáticas allí sugeridas y basta decir que la mayor parte de ellas fueron consideradas ecuaciones diferenciales con respecto al tiempo.

4.5.1. Posible materia seca ingerida (DMI)

Se asume que la cantidad de materia seca que un animal puede ingerir (DMI), es función, en primer lugar del peso del animal y de su estado en el ciclo de producción, pero la calidad del alimento forzará a ajustar estas estimaciones para calcular la ingestión real de materia seca.

La DMI para animales J en el período dt podría ser:

$$\frac{d(\text{DMI } j, dt)}{dt} = 0,025 W_{j, t} + 0,1Y - 2,5C$$

(para j = vacas lactantes)

similarmente

$$\frac{d(\text{DMI } j, dt)}{dt} = 0,0314 W_{j, t} - 0,00002 (W_{j, t})^2$$

(para j = animales en crecimiento).

donde:

$W_{j, t}$ = es el peso vivo del animal J

Y = producción de leche en el período dt.

C = Coeficiente para reducir DMI durante las primeras semanas de lactancia.

dt = día.

Como la cantidad de alimentos en términos de digestibilidad y contenido de energía metabolizable afectará la DMI, la ingestión se ajusta de acuerdo con ello.

Se supuso que la posible ingestión DMI primeramente calculada corresponde a una dieta de calidad y digestibilidad media (aproximadamente 60 DOMD p.100 ó 9 MJ/kg materia seca).

DOMD = Materia orgánica digestible en materia seca.

Como la energía metabolizable del alimento (MEF) se puede considerar como 0,15 DOMD p. 100, la cantidad de materia seca ingerida podría ser ajustada mediante el coeficiente $\frac{1}{0,15} = 6,66$ p.100 por cada unidad de cambio en la energía metabolizable de la dieta (EVD), así:

$$DMI = DMI + 0,0666 (EVD - 9) DMI = DMI (0,4 + 0,666 EVD)$$

4.5.2. La energía metabolizable de la dieta (EVD)

La calculamos aplicando a la cantidad de cada clase de alimento consumido su valor en energía metabolizable:

$$EVD = \frac{SUMTP \times EDG + DHU \times EDH + HAY \times EVHAY}{SUMTP + DHU + HAY}$$

Que da la EM por kg de materia seca.

La ingestión de energía metabolizable (EI) para cada clase de animal en el tiempo dt se calcula multiplicando

$$\frac{d(DMI j, dt)}{dt} \quad \text{por EVD}$$

4.5.3. Los requerimientos en energía metabolizable.

Se usan varias ecuaciones diferenciales para calcular los requerimientos de EM.

a) Requerimientos para mantenimiento (RM)

$$\frac{d(RM j, dt)}{dt} = \frac{0,58 (W j, t)^{0,73}}{KM} \quad j = \text{vacas lactantes}$$

$$\frac{d(RM_j, dt)}{dt} = \frac{8,67 + 0,073 W_{j,t}}{KM} \quad j = \text{animales crecidos}$$

$$\frac{d(RM_j, dt)}{dt} = \frac{0,397 (W_{j,t})^{0,73}}{KM} \quad j = \text{ovejas}$$

donde:

$$KM = 0,55 + 0,016 ERDM$$

$$ERDM = \frac{EI_{j, dt}}{DMI_{j, dt}} \quad (\text{concentración de energía en la dieta})$$

dt = un día

b) Requerimientos de la lactancia (RML)

$$\frac{d(RML_j, dt)}{dt} = 5,31 Y(T) \quad j = \text{vacas}$$

$$\frac{d(RML_j, dt)}{dt} = 7,8 Y(T) \quad j = \text{ovejas}$$

donde:

Y = producción de leche en kg/día

dt = un día

c) Requerimientos de la preñez (RPE)

$$\frac{d(RPE_j, dt)}{dt} = 1,13 + 0,0106 t' \quad j = \text{vacas}$$

$$\frac{d(RM_j, dt + RPE_j, dt)}{dt} = 1,25 + 0,0072 t' \quad j = \text{ovejas}$$

donde: t' = número de días de preñez

dt = un día

Los requerimientos del mantenimiento, lactación y preñez se suman para obtener el total de EM requerida por cada animal en cada período de tiempo dt .

$$ER = RM + RML + RPE$$

La EM total requerida (ER) se compara con la ingerida (EI) y la diferencia $EP = EI - ER$, será la EM utilizable para la ganancia de peso si es positiva; en caso contrario producirá una pérdida de peso.

4.5.4. Ganancias y pérdidas de peso vivo.

EP_j, dt es la EM utilizable para incrementar el peso vivo del animal j durante el período de tiempo dt .

La eficiencia con la cual EP será utilizada depende de la concentración de energía en la dieta (ERDM) y podemos calcular la energía neta usada para el crecimiento o engorde (EG).

$$\frac{d(EG_j, dt)}{dt} = \frac{EP_j, dt}{dt} \cdot 0,0414 \cdot ERDM_j, dt$$

a partir de aquí, calcularemos la ganancia de peso para ganado vacuno ($j < 9$),

$$\frac{d(W_j, t)}{dt} = \frac{d(EG_j, dt)}{dt} / (6,28 + 0,3 \frac{d(EG_j, dt)}{dt} + 0,0188 W_j, t)$$

excepto para las vacas lactantes que será:

$$\frac{d(W_j, t)}{dt} = \frac{EP_j, dt}{34dt}$$

Para el caso de ganado ovino ($j \geq 9$) sería:

$$\log \frac{d(W_j, t)}{dt} = 0,9 \log \frac{d(EG_j, dt)}{dt} - 0,0036 W_j, t + 1,91$$

cuyo antilogaritmo dará ganancia de peso vivo:

$$\frac{d(W_j, t)}{dt} = 10 \log \frac{d(W_j, t)}{dt} \quad (\text{g/día})$$

De esta forma, para cada clase de animal (J) el peso vivo para el período siguiente será:

$$W_{t+dt} = W_t + \frac{d(W_j, t)}{dt} dt \quad (1)$$

Las pérdidas de peso vivo (si $EP < 0$) viene dada por

$$\frac{d(W_j, dt)}{dt} = \frac{d(EP_j, dt)}{a \, dt} \quad \text{donde: } a = 28 \text{ para vacas lactantes}$$

$a = 20 \text{ para otros}$

y la misma fórmula (1) calculará el peso vivo para el siguiente período de tiempo.

4.6. Submodelo económico

Sigue esencialmente los pasos de un presupuesto total de la explotación. Son, simplemente, productos de producciones por precios e insumos por costes. Se toman en consideración el peso vivo logrado por el sub-modelo de producción animal y el primer resultado que se obtiene es el producto bruto del negocio, puesto que el momento de venta y sus precios vienen dados explícitamente por las entradas del modelo.

En cuanto a los costes se tomó el mismo enfoque. Se dan los costes por cabeza o por hectárea y el número de animales. La única variable que el modelo tiene que calcular es la cantidad de hectáreas que se va a usar para producción de heno. Dependerá del heno total consumido durante el año, y su objetivo es mantener una cantidad de heno que garantice las necesidades, lo cual dependerá del sistema y de la densidad ganadera. De esta manera se pueden calcular los costos variables y el margen bruto.

Finalmente merece la pena explicar un instrumento incorporado en el modelo, por el cual es posible repetir varias veces el proceso arriba descrito (N). Su objetivo es estudiar algunas suposiciones en un simple paso del modelo, o bien usarlo de tal modo que los valores finales de las variables al final de 12 meses sean los valores iniciales para el período siguiente. Así, el modelo es recursivo no sólo para el período de un mes a otro sino también de un año para otro. Existe una entrada (Kw) exógena por la que se decide si el modelo se va a usar en su variante recursiva anual ($Kw = 0$), o si debe tomar los mismos valores iniciales para las variables al comienzo de un año nuevo ($Kw = 1$). Por medio de esto, los resultados de un año en particular están relacionados con las condiciones y decisiones anteriores en término de peso animal, pasto en el terreno, heno almacenado, fechas de los partos, cargas ganaderas, etc.

4.7. Las salidas del modelo.

Se pueden obtener como salidas cualquier variable ya sean entradas o variables internas y calculadas por el modelo. El género y número de salidas a obtener dependerá de su relevancia en el problema que se investiga. Cuando se necesita un gran detalle es posible buscar cualquier género y número de variables para que se conviertan en salidas del modelo, o pudiera ser suficiente conseguir resultados finales o agregados.

A pesar de que se han cambiado las salidas del modelo durante su desarrollo, se han mantenido las más importantes. Las siguientes estan entre ellas.

- 1º Producción total de hierba cada mes (SUMTP)
- 2º Producción total de ME cada mes (SUME)
- 3º ME/kg DM de esta producción
- 4º Materia seca ingerida cada mes (SUMI)
- 5º Cantidad de SUMTP ingerida durante el mes de producción (D)
- 6º Cantidad de hierba consumida cada mes, que ha sido producida en los meses anteriores (DHU)
- 7º Cantidad de producción previa útil para consumo (DH)
- 8º Cantidad de heno usado cada mes (HAY)
- 9º EM/kg MD de alimento DH (EDH)
- 10º EM mínima de la dieta (EVD)
- 11º Total ME ingerida cada mes (SUEI)
- 12º Requerimientos totales de EM cada mes (SUER)
- 13º Peso medio de cada clase de animal en cada mes (W)
- 14º Ganancia o pérdida de peso por cada clase de animal en cada mes (WG)
- 15º El uso de la tierra (pastos, producción de heno, cereal) (UL)
- 16º Resultados financieros
 - a) Ingresos por vacas y ovejas de desviaje, terneros, cordero, lana, cereal.
 - b) Ingresos después de descontar la depreciación de los animales machos.
 - c) Costes variables para cada actividad.
 - d) Margen bruto total.

17° El promedio del margen bruto de los N años.

18° La varianza de N márgenes brutos.

19° El valor presente de N márgenes brutos.

Esta no es una lista exhaustiva de salidas posibles que se podrían conseguir del modelo. En el apéndice 2, que tratará de las variables del modelo, podrán verse el tipo de salidas que podría lograrse. Se darán ejemplos de las salidas del modelo cuando se analicen sus resultados en el próximo apartado.

5. VALIDACION Y EXPERIMENTACION

5.1. Validación

Se ha mencionado en el apartado tercero que la validación del modelo es uno de los principales problemas encontrados en un estudio de simulación. Aparecen muchas dificultades cuando se intenta probar que el modelo es una representación adecuada de la realidad. Será necesario suponer que el modelo es una simplificación del sistema real, pero da resultados con aproximación suficiente por los objetivos que se persiguen.

Se ha dicho que la validación consiste en ver si el modelo es "efectivo o útil para un fin específico", y ello implica algún tipo de comparación entre el modelo y la realidad (WRICHT, 1971).

El modelo da muchos resultados que debieran ser comparados con datos del sistema real, pero o bien el sistema puede no existir porque el modelo se usa para el diseño de un sistema, o bien la cantidad de datos fiables necesarios para una contrastación estadística no está disponible.

Se ha adoptado para su validación un proceso por etapas y subjetivo durante la construcción del modelo. Los criterios seguidos para validar subjetivamente el modelo fueron: factibilidad y realismo. Primero, el modelo debe dar resultados físicos factibles en términos del peso animal, requerimientos alimenticios, terreno usado para producir aquellos alimentos, etc., cuando se usan datos del sistema actual real como inputs. En segundo lugar, los resultados físicos y financieros proporcionados por el modelo tienen que ser lo más realista posible y la variación de estos resultados comparada con aquellos del sistema real debiera ser mínimas. El realismo a buscar concierne outputs físicos, (peso vivo del animal, ganancias o pérdidas de pesos vivos, alimentación suplementaria requerida), inputs financieros (producción bruta animal o hectárea, output logrado por cada actividad, costos variables, etc.)

Cada parte componente del modelo tiene que ser examinada independientemente, lo que es un trabajo caro, que lleva mucho tiempo y es difícil, aunque este ejercicio puede ser positivo y excitante. A pesar del esfuerzo realizado no queremos proclamar que el modelo puede ser usado sin problemas para cualquier sistema similar. Debe ser validado cada vez que las características del sistema difieren demasiado del original. Por otra parte, se puede asumir que el modelo dará resultados válidos, cuando el objetivo es estudiar los efectos de cambios pequeños o marginales en el sistema.

Esta característica obliga a establecer los límites del modelo, para que sea usado convenientemente y podría también explicar la decisión de usar el margen bruto como figura final a comparar cuando se hacen diferentes suposiciones. Parece que el modelo no debe ser usado para estudiar cambios radicales sin validarlo previamente ya que de momento los datos y el tiempo disponible no nos permiten verificar el modelo en una manera más general y dar una prescripción sobre límites válidos de su utilidad.

5.2. Los resultados del modelo

Se ha usado en el modelo datos recogidos de una explotación real durante los años 1973 y 1974, para los procesos de validación y experimentación.

La explotación es considerada como típica y útil para el estudio de un caso. Se ha decidido usar datos de 1973-74, a pesar de la disponibilidad de datos para otros cinco años, de alguna manera ajustados subjetivamente, porque las condiciones del medio ambiente en aquellos años pueden ser consideradas casi normales y las estadísticas de tan pequeña muestra podrían difícilmente ser significativas.

El uso de datos reales tiene la ventaja de conocer que el sistema actualmente existe y es factible, y porque los outputs del modelo pueden ser comparados con aquellos del sistema real.

Más adelante se describen experimentos que han sido llevados a cabo con el modelo. Primeramente, se investiga el comportamiento del modelo bajo diferentes supuestos. En segundo lugar, se estudian los efectos sobre el modelo de algunas decisiones y políticas y, finalmente se fijan las sensibilidades del modelo a los cambios en precios y/o costes.

5.3. Problemas y políticas a considerar: experimentos

A) Los efectos de los cambios de algunos supuestos e inputs en el modelo.

El objetivo de esta serie de ejercicios, es encontrar que hubiera ocurrido si fuera usado un valor diferente para un determinado parámetro. Se busca respuesta a preguntas tales como estas:

- ¿Qué ocurriría si la producción total de pastos fuera más baja? .
- ¿Qué ocurriría si la producción estacional asumida fuera diferente? .
- ¿Qué ocurriría si el valor energético de los alimentos fuera distinto? .

Se ha hecho la misma pregunta respecto a diferentes suposiciones en cuanto a la descomposición de la materia seca y la reducción del valor nutritivo o digestibilidad de los alimentos con el paso del tiempo, índices técnicos de las actividades ganaderas etc.

5.3.1. Coeficiente de descomposición y depreciación de los alimentos (DK_1 y DK_2)

El experimento Dk_1

Durante la construcción y validación del modelo ocurrió que cuando era aplicado a una explotación real, los resultados en cuanto a alimentos suplementarios necesitados se apartaban de la realidad, a menos que se supusieran pérdidas en las disponibilidades de los pastos.

Esta pérdida o desaparición de materia seca vienen fijadas por el parámetro Dk_1 , como porcentaje de alimento que ha sido producido anteriormente y pasa a estar actualmente disponible para ser consumido.

El significado del coeficiente Dk_1

La producción por hectárea (PH) introducida como input del modelo tiene en cuenta, de forma implícita, parte de las pérdidas de materia seca, ya que la evaluación de la producción de pastos incluye pérdidas debidas a otros factores, exceptuando aquellas debidas a la acción de los animales en pastoreo (consumo, pisoteo y pastos desaprovechados por la práctica de pastoreo seguido). Por lo tanto, el coeficiente DK_1 no es el cociente de la desaparición total de materia seca, sino que nos da la producción de pastos que desaparece debido al daño causado por los animales en pastoreo y la materia seca que por alguna razón (práctica de pastoreo, excrementos y alimentos que desagraden al animal) no son consumidos.

Partiendo de datos reales de la explotación seleccionada para su estudio, se llevó a cabo el siguiente experimento. En este sistema real el uso de heno en un año normal es alrededor de 27.000 kg y el terreno usado para producirlo es aproximadamente de 6 ha. El objetivo es encontrar unos valores para Dk_1 en cada mes que hagan que el modelo de unos resultados lo más cerca posible a estas figuras reales. Se efectuaron y probaron varias suposiciones y algunos de los resultados se exponen en el Cuadro 2. Se consideró que los efectos del pisoteo de los animales podría ser más grave durante la estación húmeda, y por lo tanto Dk_1 debería ser menor en otoño e invierno.

Los valores para $Dk_1 = 0,85$ y $0,90$ para los meses húmedos y secos, respectivamente, dieron los resultados más aceptables en términos de heno necesitado y por tanto fueron seleccionados.

El experimento Dk_2

El hecho de que la digestibilidad, y consiguientemente el valor nutritivo de los alimentos, disminuye con el tiempo, es de gran relevancia respecto al

comportamiento de todo sistema de producción animal. Se ha sugerido que la digestibilidad de las gramíneas decrece en 0,4 a 0,5 unidades de porcentaje por día durante la estación principal de crecimiento, mientras que las leguminosas mantienen su digestibilidad o su energía metabolizable con el paso del tiempo prácticamente constante. Esto se tiene en cuenta el modelo, y así la energía metabolizable de las gramíneas no consumidas se davalúa en un 12 por ciento cada mes (mantiene el 88 por ciento = $(1-0,004)^{30}$ de valor nutritivo). Como estos son datos aproximados por exceso, fue necesario introducir un coeficiente $Dk_2 < 1$ en el modelo para ajustarlo y conseguir el valor más exacto que diera resultados técnicamente aceptables. La hierba no consumida en un período determinado puede consumirse en el siguiente, pero el coeficiente DK_2 reducirá la energía metabolizable de las gramíneas ($0,88 Dk_2$) y de las leguminosas (DK_2). El problema es encontrar los valores de DK_2 , que haga comportarse el modelo de manera que sus resultados sean factibles y realistas en términos de ganancia y pérdida de peso de los animales en el tiempo. Se le dieron a Dk_2 valores comprendidos en el intervalo (0,90-1) y el modelo fue usado para un período de 1 año para cada uno de ellos. Sólo para Dk_2 igual 0,97 y 0,98 se consiguieron resultados factibles y realistas pero al usar el mismo valor de forma recursiva para varios años el peso de los animales mantuvo unos valores realistas sólo para $Dk_2 = 0,98$. Esto significa que la energía metabolizable de las gramíneas debe reducirse en un 14 por ciento cada mes ($1-0,98 \times 0,88$) y la de las leguminosas en un 2 por ciento.

Es necesario advertir que los errores debidos a la aproximación en la integración numérica del modelo, y a los efectos de otros factores y suposiciones, hacen que estos coeficientes sean sólo útiles para nuestro propósito sin que tenga un significado relevante y preciso, sirviendo exclusivamente como instrumento para representar aproximadamente la reducción en cantidad, y calidad de los alimentos con el tiempo.

CUADRO 2

EXPERIMENTO CON EL COEFICIENTE DK_1 PARA ESTIMAR EL NIVEL DE DESCOMPOSICION O DESAPARICION DE LA MATERIA SECA DEBIDA AL PASTOREO Y DAÑO CAUSADO POR LOS ANIMALES

Coeficiente de descomposición		Heno usado (kg)		Terreno necesitado para producir heno (ha)	Margen bruto (M.B.) (1000 pts)
Estación húmeda	Estación seca	Invierno	Otoño		
0,60	0,85	46.000	6.000	23,8	3.150
0,60	0,90	37.000		8,4	3.376
0,65	0,90	36.000		8,0	3.382

CUADRO 2 (Continuación)

Coeficiente de descomposición		Heno usado (kg)		Terreno necesitado para producir heno (ha)	Margen bruto (M.B.) (1000 pts)
Estación húmeda	Estación seca	Invierno	Otoño		
0,70	0,90	33.600		7,5	3.389
0,75	0,90	31.700		7,1	3.396
0,80	0,90	29.000		6,5	3.404
0,85	0,90	27.200		6,0	3.411
0,90	0,90	24.800		5,5	3.419
0,85	0,85	27.300	5.100	17,4	3.245

5.3.2. Energía metabolizable de los alimentos

Deben adoptarse unos valores para el contenido de energía metabolizable de cada tipo de alimento a usar. Todos los alimentos sufren diferentes variaciones en su valor energético según su localización y de un año para otro. Algunos varían poco, pero otros, tales como pastos naturales, heno o ensilado, pueden variar considerablemente sus valores energéticos. Esto podría explicarse por la diferente composición de los pastos naturales y por la complejidad e incertidumbre de los procesos de henificado y ensilado. Se aplicaron valores medios sugeridos de energía metabolizable por kg de materia seca para cada tipo de alimento, pero el modelo fue usado para diferentes series de valores por encima y debajo de ellos. De esta manera se analizó el intervalo de valores que mantenía el sistema dentro de un área factible.

Se consideraron varias series de valores, y los resultados logrados con el modelo para alguna de ellas quedan reflejados en el Cuadro 3. Durante este experimento, el instrumento incorporado en el modelo para controlar el uso de rastrojos como alimento fue extraído para asumir que el mismo tipo de alimento estaba disponible cada vez. Series de bajos valores energéticos producen una deteriorización en el peso de los animales, lo cual puede no ser grave para un sólo año, pero el uso recursivo del modelo con esos mismos valores para varios años produce que el sistema sea inviable al deteriorarse de tal manera la condición de los animales que su recuperación puede no ser posible en el futuro, contando sólo con los recursos normalmente disponibles. En el sistema real sus niveles de actuación podrían bajar drásticamente y los resultados financieros verse seriamente dañados.

CUADRO 3

LA ENERGIA METABOLIZABLE DE LOS ALIMENTOS: RESPUESTA DEL MODELO EN CUANTO A LA CONDICION O PESO VIVO DE LOS ANIMALES Y MARGEN BRUTO, AL ASUMIR DIFERENTES VALORES NUTRITIVOS PARA CADA ALIMENTO

Valor energético de los alimentos (ME/kg DM)					Peso vivo de los animales al final del año		Condición animal	Margen Bruto M.B. (1000 pts)	Resultados de usar el modelo de forma recursiva para 10 años con los mismos valores nutritivos
P.N.	Avena	T.S.	Heno	Rastrojos	Vacas	Ovejas			
8,6	8,4	8,3	7,6	5,3	413	33,5	se deteriora	3.413	impracticable
8,8	8,5	8,4	7,8	5,4	440	36	se deteriora	3.411	impracticable
8,8	8,6	8,5	7,8	5,5	453	38,2	se deteriora	3.410	impracticable
9,0	8,6	8,5	8,0	5,5	457	38,7	se mantiene	3.411	factible y realista
9,2	8,7	8,6	8,2	5,6	480	41,5	mejora	3.408	irreal

Por otro lado, valores energéticos altos dan resultados no realistas al alcanzar los animales un peso excesivo comparado con el que se logra en el sistema real actualmente. El modelo es por lo tanto muy sensible a cambios en los valores dados a la energía metabolizable de los alimentos y sólo parecen tolerarse pequeñas variaciones. Ha sido posible diseñar un sistema en equilibrio introduciendo unos instrumentos en el modelo por los cuales se controla el consumo de rastrojos y se acorta el período de lactación cuando el peso de las madres baja de un determinado nivel. Cuando el modelo se usa bajo estas circunstancias, su tolerancia a más amplias diferencias en valor energético de los alimentos es mayor. En cualquier caso, no es probable que en la práctica la energía metabolizable de los alimentos cambie considerablemente excepto para pastos naturales, heno y ensilados, o cuando se consideran variedades o combinaciones de pastos diferentes, por lo tanto se asumieron las series siguientes de energía metabolizable para cada tipo de alimento al usar el modelo para otros experimentos:

Pasto		Trébol	Veza/Avena	Rastrojo
Natural	Avena	Subterráneo	Heno	(Trigo)
8,8	8,6	8,5	7,8	5,5
9,0	8,6	8,5	8,0	5,5

5.3.3. Producción total

Se analizaron los efectos sobre el modelo al introducir series distintas de producción total por hectárea. Para conseguir una valoración objetiva, no parecen suficientes las investigaciones que se ha llevado a cabo en los últimos cinco años en la explotación agraria objeto de estudio, para estimar la producción de los pastos. Por lo cual, se ha preferido complementarla con estimaciones subjetivas del equipo de investigación y del personal de la finca.

Estas estimaciones de las producciones por hectárea (PH) son:

Pasto natural	1.000 kg MS/ha
Avena sobre trébol subterráneo	2.500 kg MS/ha
Trébol subterráneo	3.000 kg MS/ha
Veza avena para heno	4.500 kg MS/ha
Trigo	1.700 kg MS/ha

Estos valores se han incrementado o reducido, en cantidades discretas que suponen entre el 5 por ciento y el 10 por ciento, y el modelo se ha usado para series formadas por cada uno de estos valores. El Cuadro 4 muestra los resultados de las variables más sensibles del modelo a cambios en la producción, concretamente el heno usado, el terreno requerido para producir ese heno y el margen bruto. Los efectos sobre otras variables no son relevantes pues el peso de los animales, la calidad de los alimentos, las ganancias o pérdidas de peso, etc, son poco influenciadas por esos cambios.

Los datos y porcentajes de dicho cuadro nos permiten descubrir algunas características del sistema. Mientras un incremento del 5 por ciento de la producción total de alimento, significa una reducción del 55 por ciento de la cantidad de heno usada y del terreno para su producción, una reducción del 5 por ciento en producción de alimentos, necesita cerca del 25 por ciento más de heno y casi tres veces más terreno si se pretende producirlo en ese mismo año.

A pesar de que se puede esperar que los precios sean más bajos en los años buenos y más altos en los malos, de momento no vamos a tenerlos en cuenta. Se puede suponer que la distribución de frecuencia de la probabilidad de años buenos y malos es normal y como las pérdidas en un año malo (11 por ciento y 4,1 por ciento) son mayores que las ganancias en uno bueno (7,7 por ciento y 3,9 por ciento), a largo plazo no se van a compensar, a menos que los precios alcanzados varíen en la proporción necesaria. Esto debe ocurrir porque, de otra forma, la viabilidad a largo plazo del sistema sería imposible. Esta característica se expresa gráficamente en la Figura 8, donde puede fácilmente observarse que las pendientes de las curvas representando el terreno requerido para producir el heno preciso y el margen bruto logrado, varían inversamente (asumiendo que el número de animales y los precios se mantienen constantes) y esta relación es más evidente cuando la producción es menor (en el eje horizontal se representan los niveles de producción).

El uso del modelo para un período de diez años con inputs estocásticos

Se puede considerar que las condiciones climáticas y las producciones de los pastos y cultivos para varios años varían al azar, pero formando una serie de valores para los cuales pueden ser asumidas unas distribuciones de frecuencias normales.

Se pensó que en el uso del modelo en su forma recursiva para varios años, dando para las producciones por hectárea, valores seleccionados al azar a partir de una población que se supone distribuida normalmente, podría inducir al modelo a comportarse con mayor realismo, simulando las

CUADRO 4

EXPERIMENTO DE LA PRODUCCION POR HECTAREA: LA RESPUESTA DEL MODELO PARA DIFERENTES NIVELES
DE PRODUCCION DE PASTOS

Producción de alimentos	Heno usado (Tm)		Tierra requerida para producción de ese heno	Margen Bruto	% reducción o incremento en		
	invierno	otoño			heno usado	tierra requerida	M.B.
muy bajo	61,0	27,5	21,9 ha	3.038	+ 225 %	+ 265 %	– 11 %
bajo	33,8		10,3 ha	3.269	+ 24 %	+ 71 %	– 4,1 %
normal	27,2		6,0 ha	3.411			
alto	12,0		2,5 ha	3.547	– 55 %	– 58 %	+ 3,9 %
muy alto				3.674	– 100 %	– 100 %	+ 7,7 %

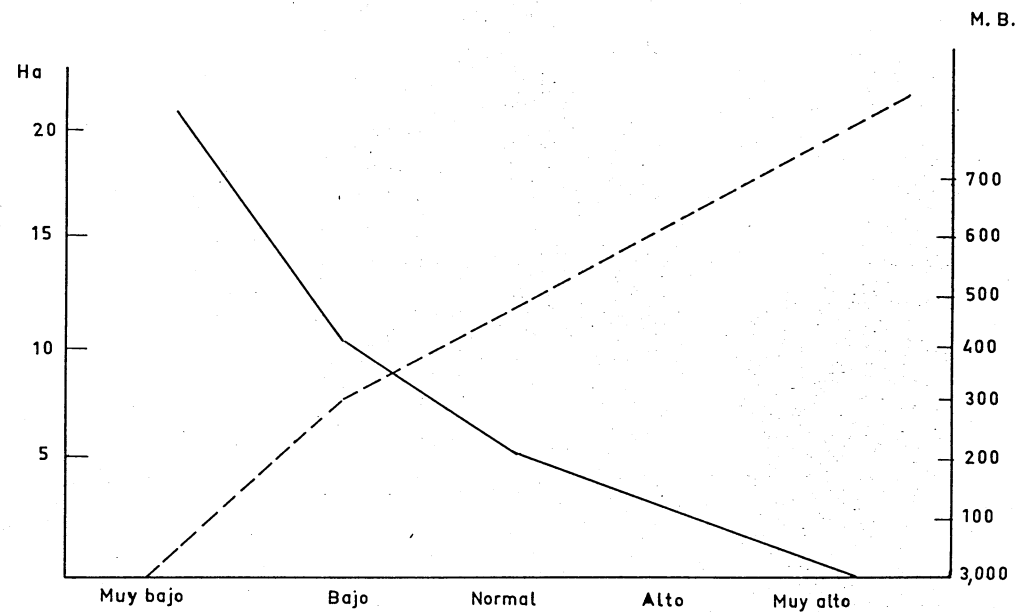


Figura 8.- — Terreno requerido para producir el heno usado (ha)
 - - - - - Margen Bruto logrado (M.B.)

variaciones estocásticas de la vida real en las producciones para cada año y las implicaciones de los procesos dinámicos y secuenciales por períodos mayores de 12 meses. Desgraciadamente, no es posible obtener estadísticas precisas y por lo tanto la alternativa ha sido el adoptar, de forma quizá arbitraria, una desviación típica igual al 5 por ciento de los valores de producción media para cada clase de pasto y extraer números aleatorios de una tabla, aplicándolos a una curva de distribución de probabilidades acumulativas.

Series de valores secuenciales se obtuvieron como resultado de ello para un período de 10 años (Cuadro 5).

El Cuadro 6 sintetiza los resultados del modelo para cada año con producciones diferentes, donde queremos poner énfasis en los valores medios tales como el heno usado (27,68 toneladas), hectáreas dedicadas a la producción del heno (6,04 ha) y margen bruto (3.502.000 pta). Es también relevante observar que la desviación típica del margen bruto es 142.000 pta o el 4 por ciento del valor medio, el cual se produce debido a la selección aleatoria de los valores de las producciones a partir de una curva de distribución normal, con una desviación típica de sólo 5 por ciento de los valores medios que puede ser considerada como pequeña y poco realista.

Los efectos sobre el sistema simulado de las variaciones en la producción vegetal han sido estudiados de esta manera, abstrayendo el afecto de cualquier otro factor que en el sistema real actuaría de forma interrelacionada (por ejemplo prácticas de pastoreo, diferentes cargas ganaderas, variaciones en precios con el tiempo etc). Estas variaciones pueden ser consideradas principalmente fuera del control del agricultor pero de gran importancia en el sistema y para el proceso de la toma decisiones.

Usando diferentes series de números aleatorios pueden lograrse otras cifras y la secuencia de los resultados del modelo resultar cambiada, pero sólo afecta considerablemente el valor actual de la serie de márgenes brutos calculados para un interés $r = 10$ por ciento.

Los gráficos de la Fig. 9 muestran la clase de alimentos consumidos a tres niveles de producción de pastos: bajo, normal y alto, respectivamente, y son un sumario de los outputs de datos físicos del modelo respecto a producción de hierba, conservación y consumo.

5.3.4. Producción estacional

No solo la producción de pastos varía de un lugar a otro o de un año para otro, sino que su distribución estacional puede diferir para cada lugar o año.

CUADRO 5
SERIES ALEATORIAS DE PRODUCCIONES POR HECTAREAS

Pasto Natural (kg.DM)	Pasto de avena (kg.DM)	Pasto de trebol sub- terráneo (kg.DM)	Heno veza/avena (kg.DM)	Trigo (kg)
1000	2500	3000	4500	1700
950	2375	2850	4275	1615
950	2313	2775	4163	1573
1025	2562	3075	4612	1742
1100	2750	3300	4950	1970
1050	2625	3150	4725	1785
1050	2625	3150	4725	1785
1000	2500	3000	4500	1700
1000	2500	3000	4500	1700
1025	2562	3075	4612	1742

CUADRO 6
PRODUCCION POR HA ALEATORIAMENTE ELEGIDA PARA UN PERIODO DE 10 AÑOS

	Heno usado		Tierra necesi- tada para pro- ducir heno (ha)	Condición animales	Ingresos	Costes Variables (1000 pts)	M.B.	Desviación del M.B.	
	invierno	otoño						absoluta (1000 pts)	%
1	46,0		10,4	normal	5.011	1.609	3.402	- 100	- 2.8
2	39,0	17,5	13,2	normal	4.937	1.592	3.344	- 158	- 4.5
3	54,6	21,6	18,3	normal	4.865	1.599	3.266	- 236	- 6.7
4	37,5		8,1	normal	4.926	1.528	3.398	- 104	- 2.9
5	2,4		0,5	normal	5.208	1.549	3.658	+ 156	+ 4.4
6	0,6		0,1	normal	5.252	1.589	3.663	+ 161	+ 4.5
7	8,0		1,7	normal	5.254	1.597	3.657	+ 155	+ 4.4
8	14,0		3,1	normal	5.139	1.595	3.544	+ 42	+ 1.2
9	14,3		3,2	normal	5.112	1.588	3.524	+ 22	+ 0.6
10	8,3		1,8	normal	5.149	1.581	3.567	+ 65	+ 1.8
	27,68		6,04				3.502	$\sigma = 124$ ó 4%	

Valor actual ($r = 0,10$) 2,137

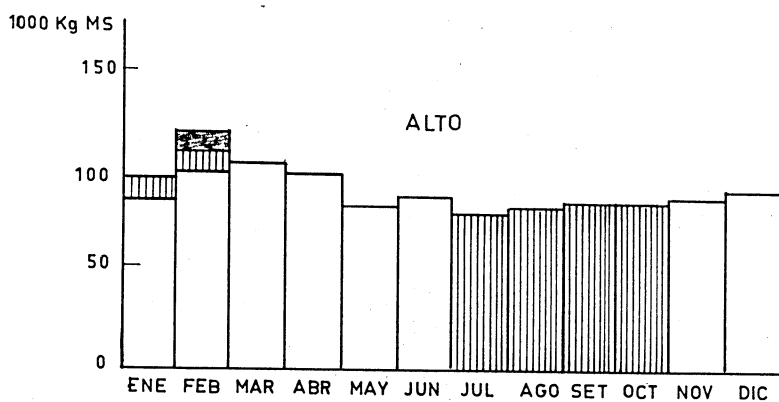
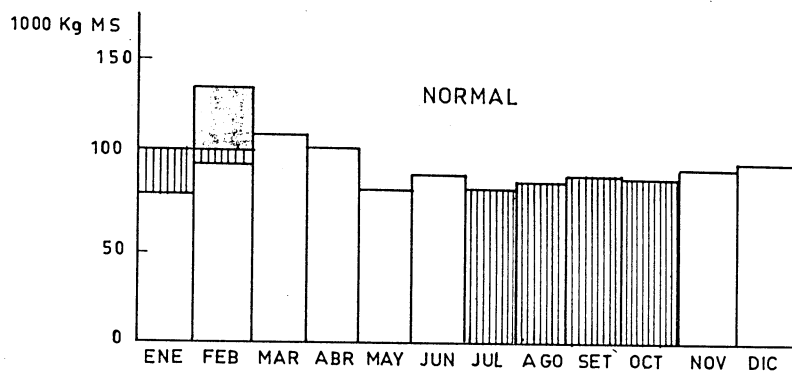
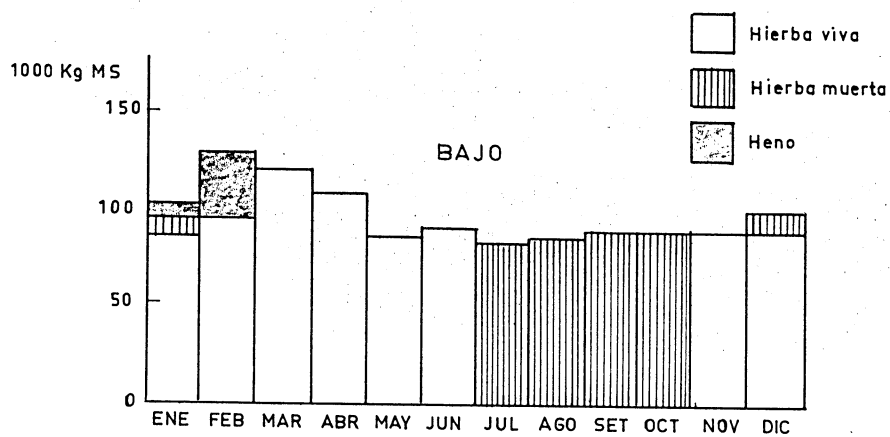


Figura 9.- Alimentos consumidos para tres niveles de producción de pastos

Este experimento trata de estimar los efectos de diferentes supuestos en producción estacional sobre el modelo, manteniendo la producción total fija y cambiando sólo su distribución estacional.

Tres series diferentes se seleccionaron y cada una de ellas con un tanto por ciento distinto de producción en cada estación. Los valores esperados componen una serie normal, valores que se incrementan o disminuyen para la producción de otoño e invierno o primavera respectivamente, de tal manera que el mismo tanto por ciento incrementado (o reducido) en primavera se reduce (o incrementa) en otoño e invierno.

El Cuadro 7 es un ejemplo del efecto sobre el modelo de una variación del ± 4 por ciento de la producción estacional de la forma indicada, lo que nos permite sacar como conclusión que el modelo es muy sensible a estos cambios ya que una mayor producción en otoño e invierno significa un requerimiento de heno tres veces mayor. Por el contrario, si la producción durante este período es mayor en el 4 por ciento no se necesita heno. El margen bruto se ve afectado en el $-5,9$ por ciento y $+ 2,7$ por ciento respectivamente, asumiendo que los precios se mantienen constantes, sin embargo la condición de los animales respecto a su peso puede variar.

5.3.5. Producción de leche

La producción de leche influenciará los requerimientos de energía metabolizable para un animal lactante y ésta energía tendrá que ser aportada bien por los alimentos o bien por las reservas del cuerpo del animal lo cual implicaría una pérdida de peso.

Los alimentos deberían tener la suficiente calidad para aportar la energía requerida dentro de los límites del apetito del animal, pues de no ocurrir así éste perderá peso. Cuanto mayor es el rendimiento lechero, tanto mayor serán los requerimientos de energía y se hace necesario una mejor calidad en los alimentos.

Se pretende con este experimento conocer qué nivel de rendimiento potencial podría soportarse y sería más conveniente dentro de los recursos alimenticios actuales del sistema. Como el modelo acepta como input el punto máximo de rendimiento lechero de las vacas, se le dieron valores dentro del intervalo 8,5 a 9,4.

Los resultados obtenidos se expresan en el Cuadro 8 y en la Figura 10. Cualquier valor sobre 9,2 dado, reduce considerablemente el peso del cuerpo de la vaca y hace necesario reducir el período de lactancia para obtener un sistema en equilibrio, siendo además posible lograr el mismo peso en el ternero a los ocho meses con menores rendimientos lecheros.

CUADRO 7

LA VARIACION EN LA PRODUCCION ESTACIONAL DE PASTOS AFECTA GRAVEMENTE LOS RESULTADOS DEL MODELO. CUANDO LA PRODUCCION DISMINUYE EN OTOÑO E INVIERNO, SE NECESITA MAS HENO Y EL MARGEN BRUTO SE REDUCE, POR EL CONTRARIO, SI AUMENTA, NO SE NECESITA HENO, EL M.B. SE INCREMENTA Y LA CONDICION DE LOS ANIMALES MEJORA

Produccion estacional	Heno usado		Terreno necesitado para producción de heno (ha)	M.B. (000 pts)	%	Condición animal
	invierno	otoño				
Normal	27.200		6,0	3.411		normal
más baja en invierno y otoño más alta en primavera	82.000	4.000	19,1	3.210	- 5,9	normal
más alta en invierno y otoño más baja en primavera			0,0	3.506	+ 2,7	mejora

CUADRO 8

**EL EXPERIMENTO DEL RENDIMIENTO LECHERO QUE MUESTRA LA RESPUESTA
DEL MODELO EN TERMINOS DE PESO VIVO DE LAS VACAS Y TERNEROS PARA
DIFERENTES SUPUESTOS DE RENDIMIENTO LECHERO POTENCIAL
DE LAS VACAS**

Pico del rendimiento lechero	peso de las vacas		peso de los terneros		meses de lactación
	final lactación	Diciembre	7 meses	8 meses	
8,5	480	471	204	222	8
8,6	478	470	206	224	8
8,7	475	466	207,5	226	8
8,8	472	463	209	227	8
8,9	469	460	210,5	229	8
9,0	465	457	212	231	8
9,1	462	454	213,5	232	8
9,2	458	450	215	234	8
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>					
9,3	462	454	216	227	7
9,4	459	451	217,7	229	7

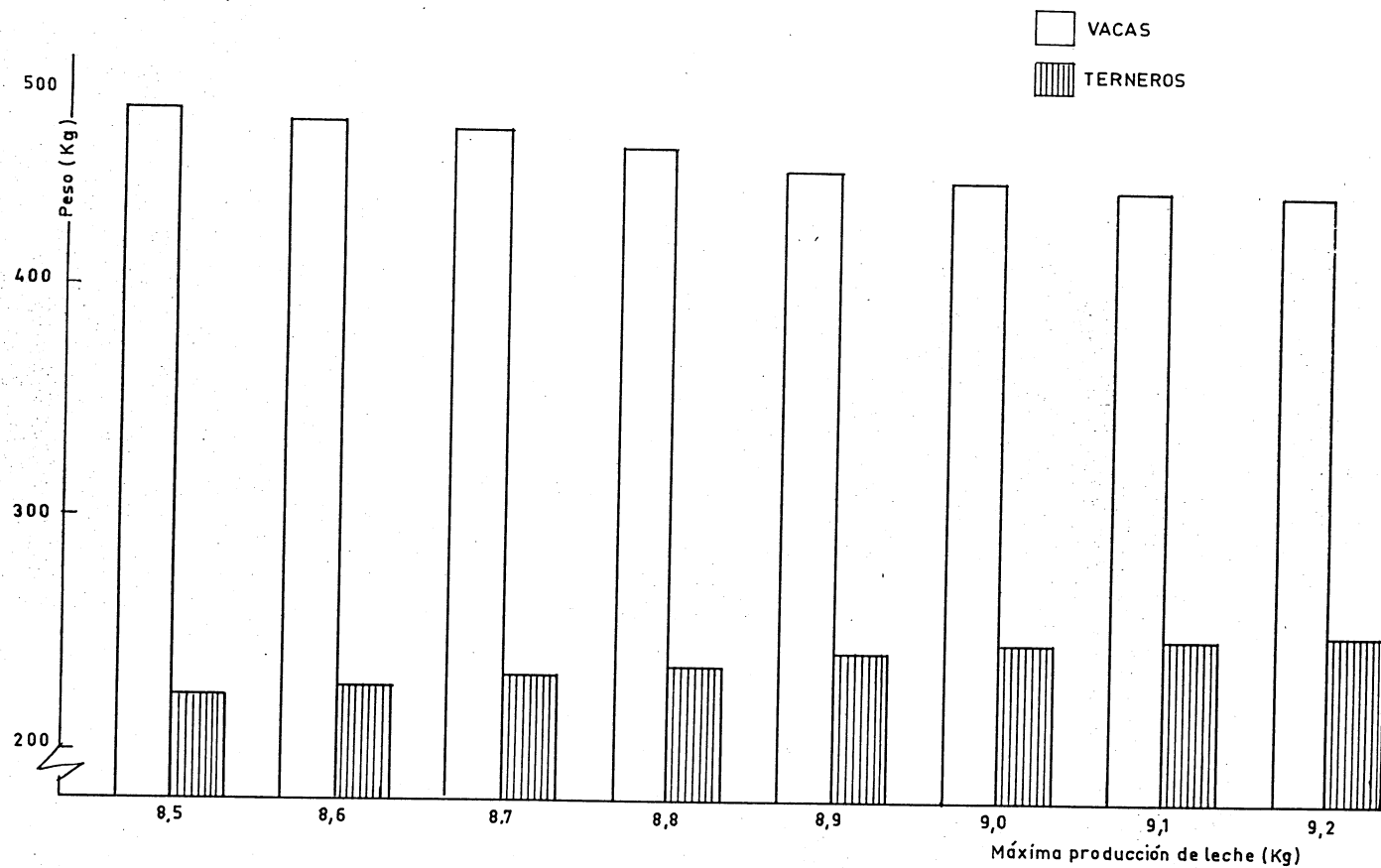


Figura 10.- Peso al final del período de lactación de las vacas y sus crías para diferentes niveles de producción lechera

Por otro lado, puntas en la producción de leche por debajo de 8,6 kg implica que el peso de destete es más bajo en el ternero pero excesivo en la vaca. Por lo tanto, podemos definir un intervalo entre estos dos valores (8,6 y 9,2) los cuales limitan el área racional de los posibles puntos máximos de producción de leche para la calidad de alimentos disponibles y la fecha de parición adoptadas en el sistema.

5.3.6. Niveles de actuación

En el apartado (4.3.5) se definió una matriz para expresar el número, clase de animales y su actuación. Es posible diseñar un sistema con cualquier combinación de índices de actuación en términos de mortalidad, fertilidad, concepción, desvieje y reproducción, y de esta forma estudiar sus efectos sobre el sistema. Se ha eludido intencionalmente esta clase de análisis ya que el número de combinaciones es enorme y se pensó que un método más simple y barato (presupuestación, programación lineal etc) podrían usarse para este propósito. Sin embargo merece la pena mostrar en el Cuadro 9 un ejemplo de esta posibilidad, dando los resultados del modelo cuando se suponen menores niveles de actuación. Se asumió aproximadamente que la fertilidad baja en un 5 por ciento y la mortalidad sube de un 1 por ciento, con sus repercusiones en la reposición. Los resultados obtenidos indican que las alteraciones debidas a cambios en niveles de actuación podrían ser mayores que aquellas producidas por las variaciones en la producción de materia seca total y estacional (Cuadros 4 y 7), lo cual explica la importancia de obtener niveles altos de actuación, para lo cual es necesario que la salud y el peso de los animales se mantengan a unos niveles correctos durante toda su vida productiva.

B) Efectos sobre el modelo de algunas políticas y decisiones

Algunos factores del sistema están totalmente bajo el control del agricultor, trataremos de esos factores que pueden ser controlados por los agricultores y ganaderos, y estudiaremos el efecto que ejerce sobre el modelo la adopción de unas determinadas políticas y decisiones respecto a la carga ganadera, nivel de cada actividad, fecha de parición, uso de insumos, etc.

5.3.7. Carga ganadera

El ganado que actualmente mantiene la explotación de 764 ha consta de 46 vacas y 1.800 ovejas, con sus respectivas crías y reposición, que son producidos en ella. Para estudiar el efecto sobre el modelo al incrementar o disminuir el número de animales en la explotación se efectúan unas variaciones proporcionales y pequeñas (± 5 por ciento y ± 10 por ciento) en el número de vacas y ovejas madres. La respuesta del modelo a estos cambios se resumen en el Cuadro 10 y en las Figuras 11 y 12.

CUADRO 9

EXPERIMENTO DE LOS NIVELES DE ACTUACION PARA OBTENER LA SENSIBILIDAD DEL MODELO A DIFERENTES INDICES DE MORTALIDAD Y FERTILIDAD

			Vacuno Ingresos Brutos	Ovino Ingresos Brutos	Ingresos Brutos Animales	M.B.	M.B. simulado — M.B. actual	%
normal	vacuno	ovino						
mortalidad	3 %	4 %	746	2.703	3.450	3.411	0	
fertilidad	90 %	96 %						
vacuno peores								
mortalidad	5 %	4 %	688	2.703	3.392	3.354	— 57	—1,6 %
fertilidad	85 %	96 %						
ovino peores								
mortalidad	3 %	5 %	746	2.546	3.292	3.242	—169	—5 %
fertilidad	90 %	90 %						
vacuno y ovino peores								
mortalidad	5 %	5 %	688	2.546	3.234	3.186	—225	—6,6 %
fertilidad	85 %	90 %						

CUADRO 10

EXPERIMENTO DE LA CARGA GANADERA QUE MUESTRA QUE CUANTO MAYOR ES EL NUMERO DE ANIMALES, MAYOR ES EL CONSUMO DE HENO, AUMENTANDO EL MARGEN BRUTO PERO CON RENDIMIENTOS DECRECIENTES Y PUDIENDOSE DETERIORAR EL PESO VIVO DE LOS ANIMALES

ANIMALES		U.G./ha	Heno consumido (Tm)	M.B. (1000 pts)	Δ M.B. %	Condición peso vivo animal
Vacas	Ovejas					
41	1.620	0,411	—	3.180		normal
					+ 3,9 %	
43	1.710	0,437	8,3	3.305		normal
					+ 3,0 %	
46	1.800	0,461	28,6	3.406		normal
					+ 2,1 %	
48	1.890	0,484	52,6	3.479		normal
					+ 0,2 %	
51	2.180	0,548	183,9	3.487		se deteriora

Dentro del intervalo considerado, el margen bruto obtenido aumenta en proporción directa a la carga ganadera, y se observan unos rendimientos decrecientes (Fig. 11), pudiéndose por lo tanto obtener un máximo pero al considerar que los costes fijos pueden a su vez aumentar debido a mayores gastos de capital, trabajo, etc no parece posible que un esperado incremento de sólo el 2 por ciento sea suficiente incentivo para incrementar la carga ganadera.

El Cuadro 11 muestra los resultados obtenidos, al usar el modelo para un período dinámico de diez años utilizando valores aleatorios para las producciones por hectárea de cada año y dos niveles de carga ganadera. Al aumentar esta en aproximadamente un 5 por ciento, el margen bruto medio de los diez años aumenta también, pero sólo en un 2,2 por ciento y al mismo tiempo se incurre en un mayor riesgo, que hemos medido por medio de la desviación típica de los márgenes brutos respectivos, que pasa de 142.000 a 174.000 pta (+ 22,5 por ciento) y que junto con el probable incremento en los costes fijos, anularía los beneficios e incentivos para la introducción de mayores cargas ganaderas.

CUADRO 11
EXPERIMENTO DE LA CARGA GANADERA (PERIODO DE 10 AÑOS
CON PRODUCCION ELEGIDAS ALEATORIAMENTE)

vacas	ovejas	Heno necesario		M.B. medio (1000 pts)	Desviación típica
		U.G./ha	(media en Tm)		
46	1800	0,461	27,6	3.502	142
48	1890	0,484	48,3	3.582	174

5.3.8. *Vacuno frente a ovino*

En un sistema de producción agraria mixto, cada actividad compite por recursos. Esto se ve particularmente acentuado cuando se trata de actividades ganaderas de vacuno y ovino llevadas conjuntamente. Además la cantidad y calidad de los alimentos requeridos por cada clase de animal cambia con el tiempo y depende de su estado en el proceso de producción, y pudiera darse el caso que ambas actividades sean complementarias e incluso suplementarias. Cuando esto ocurre, ni el concepto de márgenes brutos ni el de carga ganadera, tiene sentido para utilizarlos en la selección del nivel conveniente de las actividades vacuno y ovino.

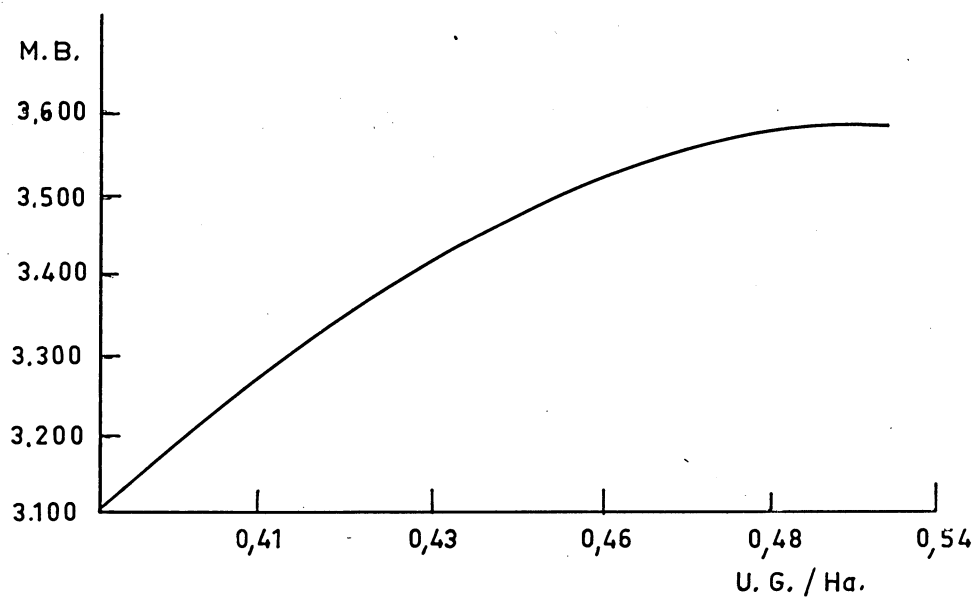


Figura 11.- Relación entre el Margen Bruto (M.B.) y la carga ganadera (U.G./ha)

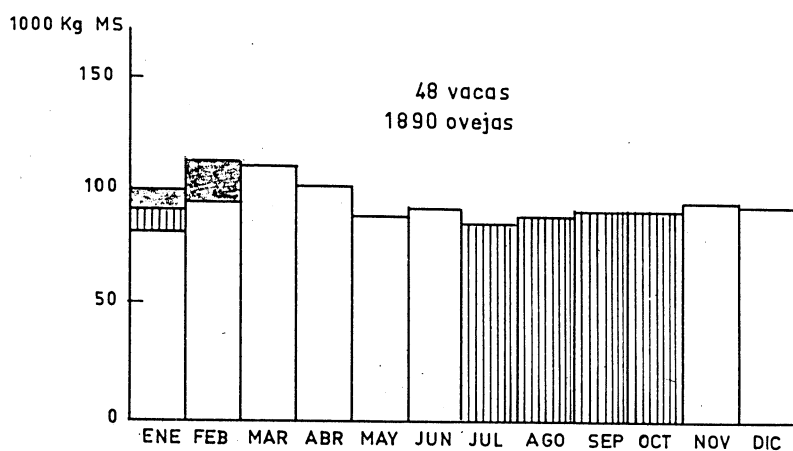
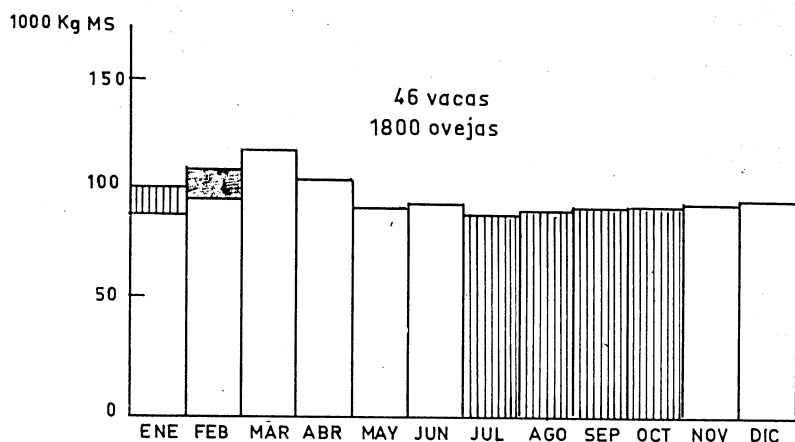
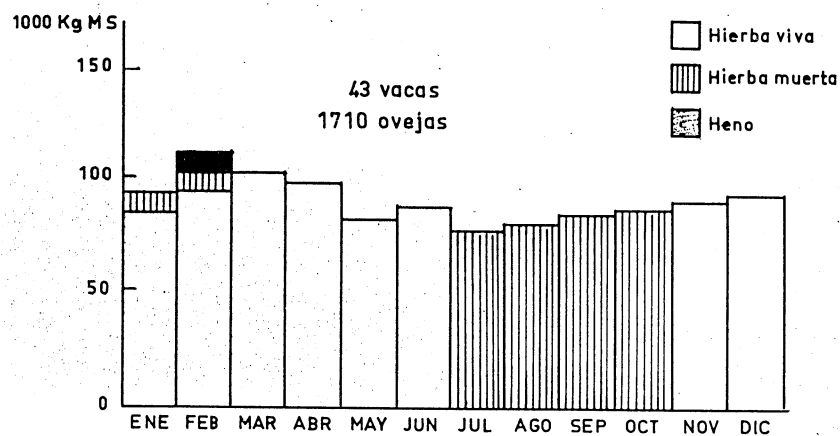


Figura 12.- Alimentos consumidos con tres niveles de carga ganadera

La carga ganadera expresada en unidades ganaderas por unidad de superficie deja de ser una medida precisa, y lo relevante es el balance entre los requerimientos y las disponibilidades de alimentos en cada período de tiempo. El Cuadro 12 trata de explicar esta afirmación y muestra los resultados obtenidos por el modelo cuando se usan diferentes proporciones de vacas y ovejas, pero manteniendo la misma carga ganadera (0,46 unidades ganaderas/ha) calculada de forma convencional. Sin embargo, se observa que el uso del heno en invierno así como el consumo de pastos cada mes varía lo que era de esperar debido a que las cargas ganaderas son comunmente calculadas mediante métodos simples y aproximados.

Intentamos probar la poca exactitud del concepto de carga ganadera comparando las necesidades del alimento para cada mes, en particular las de heno en invierno cuando se establecen diferentes clases de animales o sistemas de producción, aunque la carga ganadera teórica global sea la misma. Por esta razón utilizaremos como medida de la carga ganadera, la cifra de necesidades alimenticias en el período en que estos recursos son más escasos, concretamente los meses de invierno. En el Cuadro 13 se dan los resultados del modelo al considerar varias proporciones de vacas y ovejas, y se pueden observar que el consumo de heno varía considerablemente, aún en el caso de que se mantenga constante el número de unidades ganaderas por hectárea.

Ordenando varias alternativas de acuerdo con el nivel de heno consumido y sus respectivos márgenes brutos no aparecen diferencias significativas entre las proporciones de vacas y ovejas y los márgenes brutos resultantes, pero si las ordenamos siguiendo otros criterios, como en el Cuadro 14, se pueden distinguir algunas características. La intensificación del sistema produce un mayor consumo de heno y margen bruto, cuando se mantienen constantes la proporción de vacas y ovejas y sus respectivas fechas de partos. Los resultados logrados para una misma intensidad (heno usado), dentro de las actuales circunstancias (precios), pero con balance diferentes entre las actividades vacuno y ovino, no difieren significativamente (comparar, por ejemplo, los resultados obtenidos en los casos en que la relación vaca/oveja es de 46/1800 y 61/1620 ó 48/1890 y 130/900. Sin embargo en la Figura 13 a) mostramos de forma resumida cinco alternativas mejores, seleccionadas de entre los casos considerados. Se penso que los efectos a largo plazo, para unos niveles determinados de cada actividad ganadera, podrían ser importantes. El uso dinámico y estocástico del modelo para un período de diez años, nos da algunos resultados relevantes del problema estudiado (Cuadro 15). Es evidente que los resultados divergen de aquellos conseguidos anteriormente al usar valores medios de producción de hierba para un período de un año normal (ver Figuras 13 a y b). La decisión a tomar podría ser de seleccionar de estas tres alternativas, o alguna intermedia, la más apropiada de acuerdo con las preferencias, ambiciones y

CUADRO 12

EXPERIMENTO VACUNO FRENTE A OVINO EN EL CUAL SE SEÑALA LA RESPUESTA DEL MODELO A DIFERENTES
PROPORCIONES DE VACAS Y OVEJAS

Vacas	Ovejas	Heno consumido	Terreno requerido para producirlo (ha)	U.G./ha	M.B.
31	1.980	27,3	6,1	0,461	3.412
46	1.800	28,6	6,4	0,461	3.406
61	1.620	28,4	6,3	0,461	3.405
76	1.440	31,1	6,9	0,461	3.384
121	900	34,2	7,6	0,461	3.369
151	540	36,0	8,0	0,461	3.350

CUADRO 13

VACUNO VS. OVINO: SUS EFECTOS EN EL CONSUMO DE HENO Y EN EL MARGEN BRUTO

Vacas	Ovejas	Heno consumido	M.B. (1000 pts)	U.G./ha
43	1.710	8,3	3.305	0,537
110	1.710	8,3	3.305	0,437
110	900	12,4	3.268	0,435
31	1.980	27,3	3.412	0,461
61	1.620	28,4	3.405	0,461
46	1.800	28,6	3.406	0,461
76	1.440	31,1	3.384	0,461
120	900	31,5	3.362	0,461
151	900	36,0	3.350	0,461
68	1.620	42,0	3.471	0,478
130	900	52,1	3.441	0,482
48	1.890	52,6	3.479	0,484

CUADRO 14
VACUNO VS. OVINO, RESULTADOS PARA DIFERENTES NIVELES DE CARGA
GANADERA LA CUAL SE MIDE EN TERMINOS DE HENO CONSUMIDO

Vacas	Ovejas	Heno usado	M.B. (1000 pts)	Observaciones
43	1.710	8,3	3.305	proporción constante vacas/ovejas
46	1.800	28,6	3.406	
48	1.890	52,6	3.479	
110	900	12,4	3.268	proporción diferente vacas/ovejas
120	900	31,5	3.362	
130	900	52,1	3.441	
61	1.620	28,4	3.405	proporción diferente vacas/ovejas
68	1.620	42,0	3.471	

CUADRO 15
RESULTADOS PARA TRES NIVELES DE LAS ACTIVIDADES GANADERAS

Vacas	Ovejas	U.G./ha	Media del heno consumido (Tm)	Margen Bruto Medio (000 pts)	Desviación típica
46	1.800	0,461	27,6	3.502	142
48	1.890	0,484	48,3	3.582	174
130	900	0,482	54,2	3.674	162

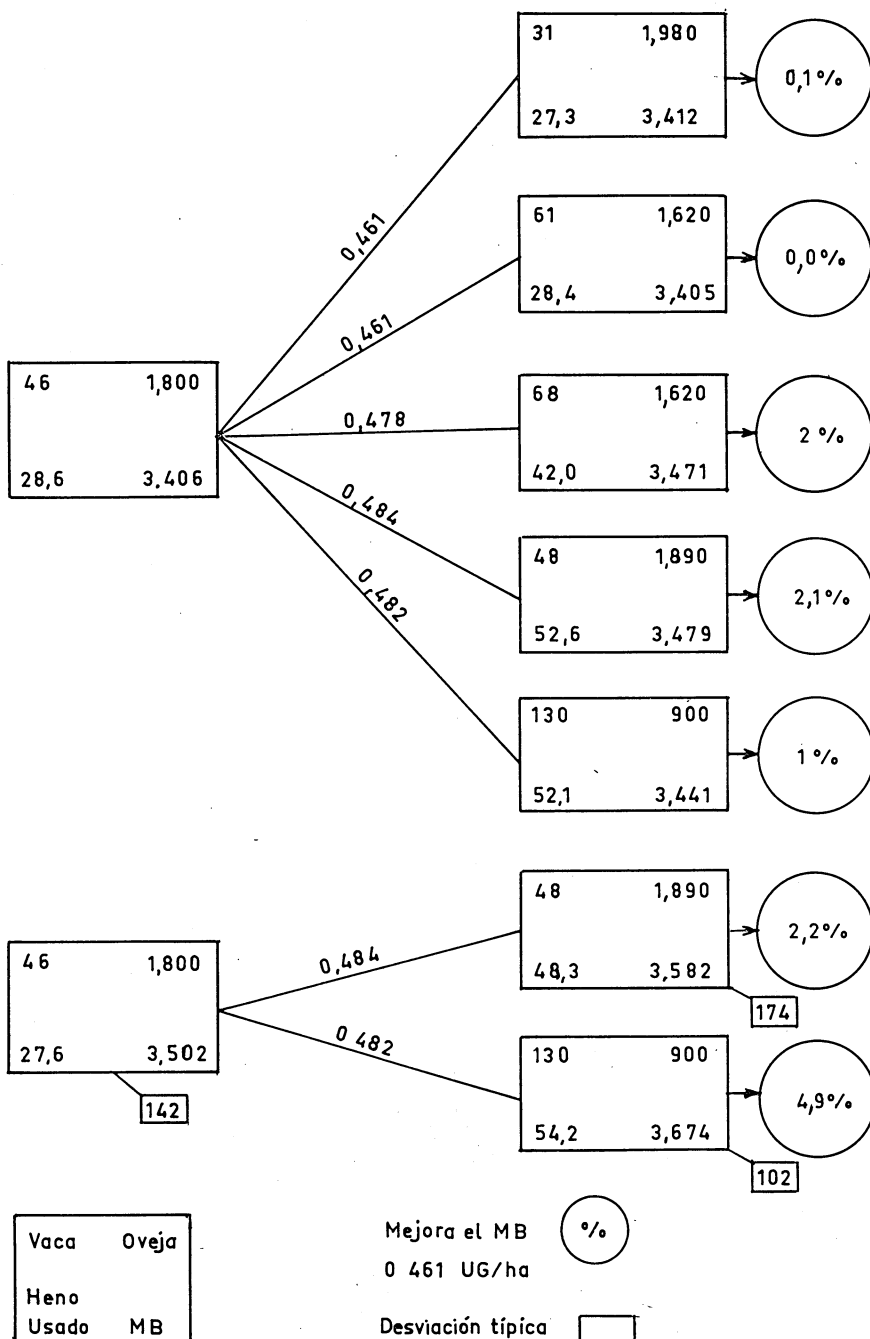


Figura 13.- Alternativas para mejorar el M.B.

actitud ante el riesgo del agricultor, después de analizar el efecto sobre los costes fijos y teniendo en cuenta la tendencia esperada de los respectivos precios de los productos de cada actividad en el futuro.

5.3.9. Fechas de los partos

Los requerimientos de energía y alimentos de los animales cambian en el tiempo y dependen del estado actual dentro del ciclo de producción. Este último es consecuencia de la fecha del parto y determina también el número y edad de los animales presentes en la explotación en cada período de tiempo. Como la calidad y la cantidad de alimentos cambian al pasar el tiempo, el problema que se nos presenta es el seleccionar aquellas fechas para los partos que produzcan un sistema ganadero, respecto al número, edad y ciclo de producción de los animales, más acorde con la disponibilidad de alimentos. Este problema se ha estudiado asumiendo varias fechas de parto para el ganado vacuno y ovino, para las cuales el Cuadro 16 da los resultados conseguidos en términos de la condición animal, el heno necesitado, el uso de la tierra y el margen bruto, que pueden ser comparados para cada alternativa. Si los partos de las vacas se efectúan en noviembre en vez de diciembre, se originan mejoras en el margen bruto y en las condiciones de las vacas respecto a su peso, pero se consume más heno. Por otro lado, si la fecha de los partos de las ovejas es en marzo en vez de febrero, se necesita menos heno, mejora la condición animal en cuanto a peso y se obtiene un mayor margen bruto. Combinando ambas alternativas, con partos de las vacas en noviembre y de las ovejas en marzo, la condición general de los animales mejora, se requiere menos heno y aumenta el margen bruto.

Se intentó avanzar hasta octubre la fecha de los partos de las vacas, pero resultó un sistema impracticable como consecuencia de la baja calidad de los alimentos disponibles a principio de otoño, no resultando adecuados para alimentar vacas lactantes a menos que se usen alimentos suplementarios.

Es necesario advertir que no han sido tenidos en cuenta los cambios posibles en precios de los productos e insumos, por lo que los resultados son sólo válidos en tanto estos cambios no anulen los beneficios logrados por un mejor uso de los recursos alimenticios. Un simple presupuesto sería suficiente para esto.

5.3.10. Incremento de la tierra arable

Se dijo en el apartado primero que una de las mejoras del sistema consistiría en incrementar la tierra arable, para permitir la introducción en la rotación de más cultivos de cereal y de pastos sembrados. Como esta

CUADRO 16

ALTERACION DE LAS FECHAS DE NACIMIENTO. VARIAN LOS REQUERIMIENTOS DE HENO, PERO LOS EFECTOS MAS INTERESANTES SON LAS ALTERACIONES EN EL PESO VIVO DE LOS ANIMALES, CON MEJORA O DETERIORO DE SUS CONDICIONES, LO QUE DETERMINA SI EL SISTEMA ES FACTIBLE A LARGO PLAZO

Mes del parto		Heno usado	Condición animal		Terreno		M.B.	Observaciones
Vacuno	Ovino		Vacas	Ovejas	Heno	Cereal		
12	2	28,6	normal	normal	6,3	102,6	3.406	
12	3	8,3	normal	mejora	1,9	103,2	3.527	
11	3	16,7	mejora	mejora	3,7	107,3	3.499	Sistema
11	2	31,5	mejora	normal	7,0	102,8	3.422	factible
10	3	—	deteriorado	normal	—	109,0	2.733	Sistema
10	2	—	deteriorado	normal	—	109,0	2.750	irrealizable

transformación lleva implícito un coste, es importante conocer si los beneficios extras obtenidos cubrirán dicho coste.

Para analizar este problema se ha supuesto que la tierra no arable es de 130 hectáreas y se va a ir reduciendo gradualmente para apreciar si el costo de la transformación es superado por los beneficios marginales que se obtendrían. Se asume la misma rotación sobre la tierra arable, pero en cada caso con una mayor dimensión dedicada a cultivos. Se usa el modelo asumiendo diferentes proporciones de tierra arable cada vez y los resultados se resumen en el Cuadro 17.

Se mejora el margen bruto al reducir el terreno no arable, pero prevalecen rendimientos decrecientes (Fig. 14), por lo que se alcanzará un punto a partir del cual cualquier incremento en la tierra arable no tiene sentido si se mantienen los precios y costes actuales. Por otro lado, el modelo nos da una ligera mejora en el peso de los animales, cuando el terreno arable es mayor (más legumbres en la dieta), mejora que llega a ser considerable cuando el modelo es usado de forma recursiva para varios años. Por esta razón, es difícil apreciar en base a una situación estática y a corto plazo si la transformación es conveniente, agravándose aún más si tenemos en cuenta las incertidumbres en las futuras producciones y precios.

CUADRO 17
INCREMENTAR LA TIERRA ARABLE REDUCE LA SUPERFICIE
NECESITADA PARA LA PRODUCCION DE HENO Y PRODUCE
UN MAYOR MARGEN BRUTO

Tierra (ha)

No arable	Arable	Cereal	Para producción de heno	M.B. (1000 pts)
130	634	96,7	8,3	3.362
120	644	99,7	7,3	3.384
110	654	102,7	6,3	3.406
100	664	104,2	5,8	3.415

5.3.11. *El uso de fertilizantes en pastos naturales*

A menudo surge la pregunta de si merece la pena usar fertilizantes en los pastos naturales. Ello dependerá de las circunstancias reales de cada finca

en particular, de la respuesta del pasto a los fertilizantes y de si el incremento en producción de hierba va a ocurrir en el período de escasez evitando limitaciones al sistema, pues no tiene sentido el obtener una mayor producción cuando sobran alimentos. Esto último se agrava cuando los mismos se componen de especies que sufren depreciaciones importantes en su valor nutritivo a medida que envejecen. Factores tales como el tipo de suelo, humedad disponible, especies de plantas y fecha de aplicación, afectan la respuesta del pasto a los fertilizantes. Esto ha sido tenido en cuenta al estudiar este problema y se han considerado tres diferentes respuestas a la aplicación de fertilizantes (300 kg/ha). Los resultados del modelo para cada supuesto se resumen en el Cuadro 18 donde se puede observar que el margen bruto disminuye, a pesar de ser menores los requerimientos de heno durante el invierno, cuando se usan fertilizantes en el pasto natural. Ello demuestra que el beneficio marginal obtenido utilizando fertilizantes en los pastos naturales no compensa con su coste en las circunstancias actuales.

Por otro lado, se pensó que una mayor producción de pastos podría permitir incrementar la carga ganadera y así obtener mejores resultados. El Cuadro 19, da los resultados del modelo para tres cargas ganaderas diferentes cuando se asume una producción de materia seca por hectárea de 2.500 kg. A la vista de ello se puede incluir que la aplicación de fertilizantes en pastos naturales podría ser beneficioso sólo si se mantiene una mayor carga ganadera y si el beneficio extra va a ser superior al costo de los capitales necesarios para ello.

5.3.12. Otros experimentos posibles

El número de experimentos que podrían ser llevados a cabo con el modelo es demasiado grande para intentar hacerlos dentro del marco de esta tesis. Entre otros sería posible estudiar cual sería el más conveniente o menos arriesgado nivel de heno a producir, el efecto de cambiar las especies en los pastos artificiales, o la introducción de nuevas mezclas o cultivos. De esta manera un gran número de sistemas pueden ser diseñados y estudiados.

Hasta ahora no se han considerado cambios en precios a pesar de que es probable que sus efectos en el sistema sean importantes. La próxima sección tratará sobre el problema de variaciones en precios de una forma simple.

C) La sensibilidad del modelo a los cambios en precios y costes

La función objetivo del modelo puede expresarse por la ecuación lineal:

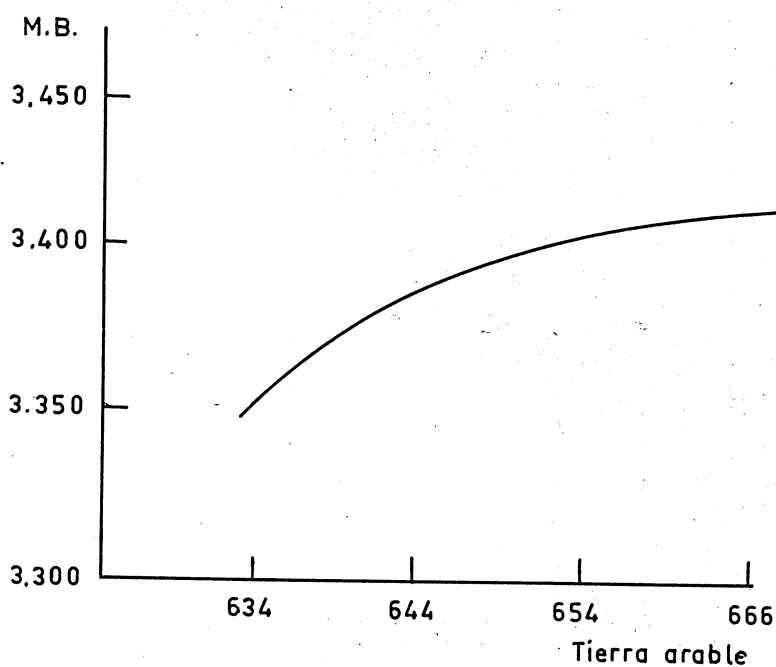


Figura 14.- Prevalen rendimientos decrecientes cuando se incrementa la tierra arable

CUADRO 18

RESULTADOS DEL MODELO PARA TRES RESPUESTAS A LA APLICACION DE FERTILIZANTES

Producción de pasto natural kg.MS./ha	Heno necesitado (Tm)	Superficie para producción de heno (ha)	M.B. (1000 pts)	% variac. M.B.
1.000	28,5	6,3	3.406	sin fertilizantes
2.500	9,7	2,2	3.361	- 1,3 %
2.700	7,6	1,7	3.369	- 1,0 %
2.900	5,2	1,2	3.378	- 0,8 %

CUADRO 19

LAS RELACIONES ENTRE EL USO DE FERTILIZANTES EN LOS PASTOS NATURALES Y LA CARGA GANADERA,
BAJO EL SUPUESTO DE QUE EL USO DE FERTILIZANTES INCREMENTARÁ LA PRODUCCION DE MATERIA SECA
EN UN 250%, LO QUE PODRIA PERMITIR AUMENTAR EL NUMERO DE ANIMALES

Vacuno	Ovino	Heno necesitado (Tm)	Terreno requerido para producirlo	M.B.	$\Delta \%$	Observaciones
46	1.800	28,5	6,3	3.406	—	Sin fertilizante en pastos naturales
48	1.890	26,2	5,8	3.459	+ 1,5%	con fertilizante
51	2.180	105,3	23,4	3.637	+ 6,7%	con fertilizante

$$M = \sum Y_h p_h - \sum X_i p_i$$

donde:

M = margen (margen bruto, beneficio, etc.)

Y_h = producciones

X_i = insumos

p_h y p_i = sus precios respectivos

Los precios cambian y puede decirse que son función del tiempo. Este cambio en los precios hará que la función objetivo M cambie. Se puede demostrar que para un conjunto específico de precios p_h y p_i , existe un nivel de producciones e insumos que maximizarán el margen M, y que entonces las relaciones entre insumos y producciones (factores y productos) tienen estrecha conexión con la proporción de precios, por ejemplo producto marginal ($MP_{ih} = p_i/p_h$), tasa marginal de sustitución ($MRS_{ij} = -p_j/p_i$), tasa marginal de transformación ($MRT_{hk} = -p_k/p_h$), donde i y j son insumos, h y k productos. (DILLON 1968)—. Por otra parte, si los precios y costes aumentan o disminuyen en la misma proporción o porcentaje p, la función objetivo aumenta o disminuye en esa proporción, ya que:

$$M' = \sum Y_h p_h p - \sum X_i p_i p = p (\sum Y_h p_h - \sum X_i p_i) = pM$$

y podremos afirmar que los cambios proporcionales en precios darán a la función objetivo un valor monetario diferente, lo que no es relevante para nuestros problemas de planificación o procesos de decisión, que sólo se ven afectados cuando cambian las relaciones de precios de los factores y productos.

Basándonos en esta afirmación, sólo vamos a estudiar la sensibilidad del modelo a los cambios en precios y costes, considerando varias proporciones de precios de los productos y factores. Como el número de combinaciones es enorme y existen métodos más simples y baratos para ello (presupuestos, P.L., etc) simplificamos las alternativas considerando estos casos:

- a) cambio en los precios de los productos de la actividad vacuna.
- b) idem de la actividad ovina.
- c) idem de todas las actividades.
- d) cambios en los costes variables.

En primer lugar el sistema actual con 46 vacas y 1.800 ovejas se analiza para cada uno de estos supuestos, considerando precios y costes

aumentados o disminuidos en un 10 por ciento. La variación porcentual, con respecto al margen bruto, da la sensibilidad del modelo a estos cambios (Cuadro 20).

En segundo lugar, la variación de precios se aplicó a sistemas con diferente proporción de vacas y ovejas y sus resultados se ordenan de acuerdo con el margen bruto logrado para cada nivel de precios (Cuadro 21). Se puede observar que el orden se altera y que cuando los precios de los productos de una actividad son relativa y suficientemente más altos, esa actividad debiera preferirse.

Finalmente, cuando aumentamos los precios de todos los productos (+ 10 por ciento), se obtuvo un mayor margen bruto (+ 15 por ciento), que aplicados a sistemas con diferente nivel de mejora (proporción tierra arable—no arable) dan los resultados del Cuadro 22, que sugiere una razón para intensificar el sistema y obtener mayores productos e ingresos por hectárea.

5.3.13. La necesidad de considerar las variaciones dinámicas de los precios

Precios y costes varían con el tiempo tanto en valores absolutos, como relativos, por lo que las razones entre precios pueden ser diferentes de un período a otro. Es absurdo pues hacer ninguna conclusión o tomar decisiones acerca del sistema, en cuanto a la carga ganadera, nivel de cada actividad, etc, sin tener en cuenta precios y costes y las expectativas de sus futuras tendencias ya que la utilización óptima de los recursos físicos no siempre significa unos resultados financieros mejores, siendo a veces necesario dejar recursos sin usar para obtener mayores beneficios o disminuir el riesgo.

Quizá uno de los experimentos más interesantes llevados a cabo en el modelo, es su uso dinámico y recursivo con valores futuros esperados de precios y costes, para un período de 10 años ($N = 10$), y seleccionando al azar valores de producción por hectárea. Como precios y costes para los cuatro primeros años, se tomaron datos históricos que se extrapolaron para los años siguientes (1978–83), suponiendo que seguirán la misma tendencia.

Se puede suponer que las condiciones climáticas varían y que afectarán los precios, pero la intervención del gobierno y la política de precios no permitirán excesivas diferencias. En consecuencia, se simplificó este problema no tomando en consideración este tipo de incertidumbre en cuanto a precios futuros.

La fecha de venta de los productos determinará los precios obtenidos pero las diferencias pueden no ser significativas cuando aquella varía sólo unas semanas. La información requerida de precios y costes se obtuvo de la información semanal que publica el Ministerio de Agricultura.

CUADRO 20

LA SENSIBILIDAD DEL MODELO A UNOS CAMBIOS RELATIVOS EN LOS PRECIOS Y COSTES VARIABLES

	M.B.	% variación del M.B.
actual	3.406	—
precios productos ovinos Δ 10%	3.684	+ 8%
precios productos vacuno Δ 10%	3.481	+ 2,2%
precios de todos los productos Δ 10%	3.916	+ 15%
todos los costos variables Δ 10%	3.247	— 4,5%

5.3.14. Experimentos con variables físicas y financieras, estocásticas y dinámicas para un período de 10 años

Partiendo de las condiciones anteriormente expuestas se simularon tanto el sistema actual como nuevos sistemas, resultado del cambio de algunos factores. Estos cambios consistieron en lo siguiente:

- la carga ganadera se incrementó, en ocasiones manteniendo la misma proporción de vacas y ovejas o aumentando el número de vacas.
- la fecha de los partos de las vacas se adelanta un mes y la de las ovejas se atrasa.
- se mantuvieron fijos la cantidad de tierra arable, el tipo de pastos y cultivos y la rotación, no usándose fertilizantes en los pastos naturales.

El Cuadro 23 es un resumen de los resultados del modelo para alguno de los sistemas considerados, tal como se expresan en la parte superior del cuadro. En la primera columna se expresan los resultados del sistema actual simulado, en las siguientes los resultados de los nuevos sistemas

CUADRO 21

LA CAPACIDAD DE LOS CAMBIOS RELATIVOS DE PRECIOS DE MODIFICAR EL MARGEN BRUTO PARA DIFERENTES PROPORCIONES ENTRE LAS ACTIVIDADES

ANIMALES		Heno usado	MARGEN BRUTO		
Vacas	Ovejas		Precios Actuales	Precios productos ovino Δ 10%	Precios productos vacuno Δ 10%
31	1.980	27,3	3.412 (3)	3.718 (2)	3.463 (5)
46	1.800	28,6	3.406 (4)	3.684 (3)	3.481 (4)
61	1.620	28,4	3.405 (5)	3.766 (1)	3.505 (3)
48	1.890	52,1	3.479 (1)	3.655 (4)	3.552 (2)
130	900	52,1	3.441 (2)	3.579 (5)	3.650 (1)

Entre paréntesis el orden de mayor o menor M.B.

CUADRO 22

LA RELACION TERRENO ARABLE Y PRECIO DE LOS PRODUCTOS. SI ESTOS AUMENTAN, LA TRANSFORMACION DEL TERRENO EN ARABLE SE PUEDE VOLVER RENTABLE

TERRENO		Heno consumido (Tm)	Ingresos	Costes variables	M.B. precio productos	M.B. precios actuales
No arable	arable				$\Delta 10\%$	
130	634	37,3	5.398	1.535	3.863	3.362
120	644	32,9	5.449	1.559	3.889	3.384
110	654	28,6	5.500	1.584	3.916	3.406
100	664	26,0	5.527	1.600	3.972	3.415

simulados a medida que se consideran ciertas decisiones y políticas de forma secuencial. Se puede observar que en la mayoría de los casos, las diferencias de márgenes brutos no son importantes (< 3 por ciento), la única excepción ocurre cuando se aumenta considerablemente la proporción de la actividad vacuna, ya que el margen bruto es entonces mayor en un 6 por ciento pero incrementándose la varianza (mayor riesgo). Por otro lado, el efecto a largo plazo sobre la condición de los animales es significativo cuando se alteran las fechas medias de los partos. Ello significa que si por alguna razón (manejo defectuoso del ganado, baja la calidad del heno, excesivo uso de alimentos con bajo valor nutritivo usados en años de escasez, etc), la energía metabolizable de la dieta se hicieran críticamente baja, el riesgo de un deterioro grave y excesivo de la condición de los animales sería menor en los nuevos sistemas. De hecho, cuando se asumen valores bajos de energía metabolizable de los alimentos, se ve sensiblemente deteriorada la condición de los animales a largo plazo en el sistema actual, lo que afecta a la actuación de los animales y a los resultados del sistema a largo plazo como se ha visto anteriormente. Además, los nuevos sistemas diseñados produjeron una serie diferente de requerimientos de energía mensual (ver un ejemplo en el Cuadro 24), que se reducen durante el invierno, lo que hace disminuir los requerimientos de heno que precisamente suele tener un grado más bajo de energía metabolizable y mayor coste que otros alimentos.

CUADRO 23

RESUMEN DE LOS RESULTADOS PARA 10 AÑOS DE LA SIMULACION DEL SISTEMA ACTUAL DE OTROS SISTEMAS DE NUEVO DISEÑO

Vacas	46	46	48	130
Ovejas	1.800	1.800	1.890	900
Partos: (mes)				
Vacas	12	11	11	11
Ovejas	2	3	3	3
M.B. medio (000 pts)	6.158	6.140	6.304	6.522
Varianza ($\times 10^{10}$)	545	489	530	589
Valor actual	34.246	34.287	35.176	36.337
Condición animales	normal	mejora	mejora	mejora

CUADRO 24

INGESTION Y REQUERIMIENTOS MENSUALES DE ENERGIA PARA DOS SISTEMAS SIMULADOS DISTINTOS

ANIMALES: 46 VACAS Y 1.800 OVEJAS				
Parto vacuno	DICIEMBRE		NOVIEMBRE	
Parto ovino	MARZO		FEBRERO	
Meses	Requerimientos	Ingestión	Requerimientos	Ingestión
Enero	704	829	602	814
Febrero	1.290	1.000	703	872
Marzo	1.040	988	1.290	1.040
Abril	889	872	1.040	1.000
Mayo	527	719	888	885
Junio	538	749	483	667
Julio	503	634	473	617
Agosto	490	619	490	611
Septiembre	508	607	504	575
Octubre	427	587	521	560
Noviembre	484	764	462	740
Diciembre	603	828	533	796

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En primer lugar, es necesario señalar que los resultados logrados experimentando con el modelo dependerá de los datos o inputs presentes en él, y que si se desea conseguir resultados más exactos se requiere mayor investigación y esfuerzo en su obtención. A pesar de ello, se ha considerado que los datos actuales disponibles han sido suficientes para nuestro propósito de inferir conclusiones generales acerca del comportamiento del sistema.

En el análisis de los efectos sobre el modelo de diferentes supuestos en los niveles de **desaparición y deterioro de los alimentos**, se comprobó una gran sensibilidad de los resultados. Parece conveniente emprender experimentos de campo para obtener los niveles reales de desaparición y deteriorización de los alimentos y considerar cuidadosamente las prácticas de pastoreo y la carga ganadera que es sabido tienen gran efecto sobre este fenómeno (experimento 5.3.1.).

Conclusiones similares pueden sacarse del experimento 5.3.2. referente a la **energía metabolizable de los alimentos**. El modelo es muy sensible a sus cambios y sólo cuando son muy ligeros pueden ser tolerados. Las prácticas de pastoreo que aprovechan los mejores pastos y la obtención de heno de buena calidad ayudarán a conseguir un sistema sano y factible a largo plazo.

La producción de pastos y alimentos depende en parte de factores que el agricultor no puede controlar pero si puede, de alguna manera, influir en ellos, con el uso racional de fertilizantes, alterando el tipo de pastos, mejorando sus prácticas de pastoreo, etc.

El hecho que un cambio de un 5 por ciento en la **producción total de los alimentos** diera como resultado un 4 por ciento de variación del margen bruto (experimento 5.3.3.), da una idea de la importancia que tiene el tratar de evitar el efecto de las variaciones anuales en la producción de los pastos, ya sea introduciendo nuevos pastos más productivos y apropiados o reduciendo la carga ganadera pero esto también afectará al margen bruto. Es necesario pues, comparar ambas alternativas y hemos encontrado que reducir la carga ganadera en un 5 por ciento supuso una disminución del margen bruto del 3 por ciento (experimento 5.3.7.). Es presumible que el efecto a largo plazo de una reducción regular del 3 por ciento cada año, cause más daño que la variación incierta e irregular del 4 por ciento debida a las variaciones en la producción de pastos.

La **distribución estacional de la producción de pastos** es quizás más relevante, ya que el 4 por ciento menos de producción durante la estación fría triplicó las necesidades de heno y disminuyó el margen bruto en casi un 6 por ciento (experimento 5.3.4.).

A pesar de que sería posible mejorar el sistema mediante la introducción de nuevos tipos de pastos, rotaciones o mezcla de especies que produjeran más alimentos en los períodos de mayor escasez, también es posible mejorarlo (mientras la investigación no

ofrezca otras alternativas) adaptando el sistema de producción animal, en términos de carga ganadera, clases de animales, época de los partos, etc, a las actuales disponibilidades de alimentos (experimentos 5.3.7., 5.3.8., 5.3.9.).

El rendimiento lechero potencial de las vacas ha sido estudiado en el experimento 5.3.5. que ha mostrado estar limitado, por la calidad de los alimentos disponibles, a un nivel máximo de 9,2 kg/día. Es importante poner énfasis en que sólo cuando se pueda producir alimentos de mejor calidad o se fijen adecuadamente las fechas de los partos, será interesante y rentable considerar la posibilidad de introducir vacas con un mayor potencial lechero, o de lo contrario, cualquier iniciativa en este sentido no tendría objeto.

La gran influencia de **la actuación de los animales** sobre el comportamiento del sistema, nos recomienda examinar y mejorar los índices técnicos de los animales antes que cualquier otro factor. Es fundamental y merece la pena esforzarse por conseguir buenos índices de concepción, fertilidad, mortalidad, etc, que vienen afectados por muchos factores ligados entre sí (como la condición animal en cuanto a su peso y salud, política de desviage de los reproductores, número y calidad de los machos y alteraciones en el peso durante el ciclo de producción), por lo que se hace necesario un análisis comprensivo de todos ellos, pero teniendo en cuenta que al final casi todo depende de que la cantidad y la calidad de los alimentos sea la adecuada para el sistema de producción adoptado.

La medida de **carga ganadera** mediante índices de unidades ganaderas por hectárea o de hectáreas por unidad ganadera, resultó ser poco exacta y representativa para nuestros objetivos. El valor de estos índices no clarifica suficientemente el problema ya que vienen influidos por el tipo de forrajes y pastos, la calidad de alimento comprado, el uso de rastrojos y subproductos y el sistema de producción animal adoptado en cuanto a sus clases y fechas de los partos, todo lo cual determinará los diferentes requerimientos de alimentos a lo largo del año. Necesitamos una medida más exacta para nuestro propósito y consideramos que los requerimientos mensuales de energía y alimentos nos podrían servir. Para cada situación dada de tipo y cantidad de alimentos, habrá un sistema de producción animal que utilice óptimamente esos recursos alimenticios con un coste mínimo. Ese sistema se conseguirá eligiendo el número y la clase de animal correcta, y unos ciclos de producción (fecha de partos) adecuados para conseguir un equilibrio entre las necesidades y disponibilidades de alimentos. Por lo tanto, es necesario considerar todos los resultados obtenidos en los experimentos relativos a la carga ganadera, vacas frente a ovejas y fechas de los partos (experimento 5.3.7., 5.3.8., 5.3.9.) antes de ofrecer una conclusión.

Al aumentar el número de animales en un 5 por ciento las necesidades de alimentos son mayores, y aunque produce un incremento en el margen bruto del 2 por ciento, este no cubre los costes fijos y de capital extras. Como prevalecen unos rendimientos decrecientes respecto a los márgenes brutos, no tiene sentido aumentar la actual carga ganadera en más de un 5 por ciento (experimento 5.3.7.).

Por otro lado, si el aumento de la carga ganadera viene asociada con cambios en las proporciones de cada tipo de animal y en las fechas medias de los partos los resultados son mucho más favorables tanto respecto a la condición animal como al margen bruto. La mejora en la condición de los animales asegura que su salud y su actuación será más conveniente, al mismo tiempo que evita riesgos al ampliar el intervalo entre la calidad de los alimentos necesaria y obtenible. Sin embargo, una mejora en el margen no significa nada si existen variaciones en precios.

Al margen de que estas variaciones relativas de precios influyan en los resultados económicos del sistema adoptado, los experimentos 5.3.8. y 5.3.9. dan una guía para mejorar el sistema actual, puesto que avanza la fecha de nacimiento de los terneros en un mes mejora la condición de los animales y el margen bruto, a pesar de que aumentan las necesidades de heno (31,5 toneladas). También cuando el nacimiento de los corderos se atrasa un mes, ocurre lo mismo, pero ahora se reduce la cantidad de heno usada (8,3 Tm).

Cuando se adoptan estos cambios conjuntamente, combinando los beneficios de cada uno de ellos, el requerimiento de heno en invierno es menor (16,7 Tm) que en el sistema actual (28,6 Tm), y se demostró (Fig. 8) que cuanto menor es el heno usado, mayor es el margen bruto para el mismo número y proporción de animales.

Sin tener en cuenta las consecuencias a largo plazo y las expectativas y tendencias futuras de los precios y costes, no es posible sacar ninguna conclusión acerca del nivel más conveniente de las actividades ovina y vacuno.

A primera vista se preferirá la actividad con mayor margen bruto, pero se ha dicho (párrafo 5.3.8.) que el concepto de margen bruto por sí solo no puede ser directamente aplicado, entre otras cosas porque ambas actividades pueden ser, además de competitivas, en cierta manera suplementarias y complementarias. Al mismo tiempo hay que tener en cuenta que las actividades ovino y vacuno se ven afectadas diferentemente por las variaciones en la producción de pastos, por lo tanto, a largo plazo, los resultados y el riesgo implicado pueden variar (Cuadro 15).

Los cambios relativos en los precios de los productos de cada actividad en el tiempo alteran los resultados logrados para diferentes niveles de actividad (Cuadro 21), por todo lo cual parece necesario una aproximación al problema mediante un proceso estocástico, dinámico y a largo plazo como el explicado en el párrafo 5.3.14.

Un análisis para estudiar la conveniencia de incrementar la tierra arable necesitará una valoración de la inversión, y el modelo podría proporcionar suficiente información para evaluar los beneficios en términos físicos y financieros de esa mejora comparándola con su coste. A pesar de que para el experimento 9.3.10. se han usado valores estáticos y determinísticos para la producción, precios, etc., es posible usar el modelo de manera dinámica y estocástica para un período de 10 años (párrafo 5.3.14.), con lo cual podríamos predecir las consecuencias a largo plazo de la transformación.

Pareció suficiente como primera aproximación, para estudiar nuestro caso, usar el modelo con valores medios de producción y precios de producto e insumos y para el período de un año. Se pudo comprobar que incrementar la tierra arable en 10 ha, no reportaría ningún beneficio adicional, pues el margen bruto sólo aumentaba 9.000 pta que comparándolo con la inversión y el interés que se estimó en 100.000 pta y el 10 por ciento, respectivamente, nos lleva a pensar que tal mejora no es rentable en las actuales circunstancias de la finca, precios y costes.

El uso de fertilizantes en los pastos naturales, cuya respuesta se supuso sería de 250 por ciento, 270 por ciento y 290 por ciento, no parece interesante a menos que se aumente la carga ganadera, pero esto implicará unos mayores costes de capital. Si el número de animales se aumenta en un 5 por ciento, el margen bruto lo hace en 1,5 por ciento (Cuadro 19), que es menor que el 2,1 por ciento obtenido (Cuadro 11) incrementando la carga ganadera en la misma proporción pero sin usar fertilizantes en los pastos naturales. Si el número de animales se aumenta aún más el margen bruto llega a ser 6,7 por ciento con el uso de fertilizantes (Cuadro 19) pero el 2,3 por ciento se habría conseguido al aumentar la carga ganadera y entonces podemos atribuir solo el 4,4 por ciento restante a la cantidad extra de alimento producido como respuesta de los pastos naturales a los fertilizantes. El beneficio marginal obtenido (6,7 por ciento de 3,4 millones) tendría que cubrir los costes fijos y de capital que se estiman en 250.000 pta, lo cual no ocurre. De todo ello podemos deducir que el uso de fertilizantes en pastos naturales no evita ninguna limitación del sistema.

Los resultados del modelo a los cambios en precios y costes mostraron algunas características que merece la pena mencionar.

- a) la dimensión relativa de cada actividad tiene importancia cuando los precios cambian, ya que, cuanto más grande es la actividad cuyo precio ha mejorado, mayor es el efecto en el resultado de toda la explotación. Usando la misma notación que en el capítulo anterior, esto puede generalizarse con la siguiente fórmula:

$$M = Y_k p_k + \sum Y_h p_h - \sum X_i p_i$$

donde:

Y_k = es la cantidad de producto k , y cuanto mayor es Y_k más importante es el efecto sobre M cuando el precio p_k cambia en la proporción p .

- b) como los ingresos por los productos son normalmente mayores que los costos de los factores, la misma variación porcentual en los precios o en los costes altera el margen bruto de forma más significativa en el primer caso que en el segundo (Cuadro 20). Esto quiere decir que si los precios y costes sufren un incremento porcentual p , se cumple que:

$$M' = \sum Y_h p_h - \sum X_i p_i = p \sum Y_h p_h - \sum X_i p_i$$

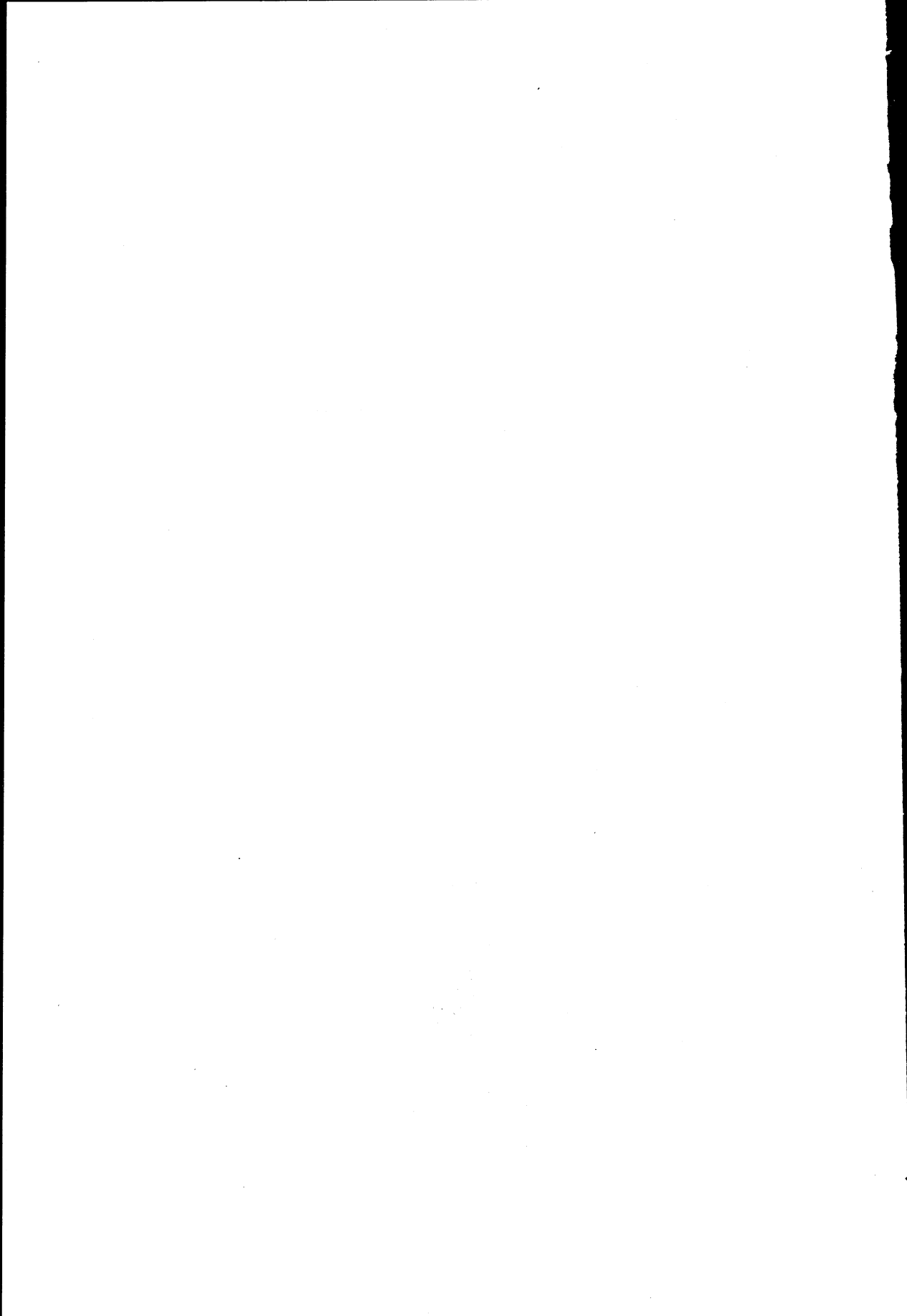
$$M'' = \sum Y_h p_h - \sum X_i p_i p = \sum Y_h p_h - p \sum X_i p_i$$

$$M' > M''$$

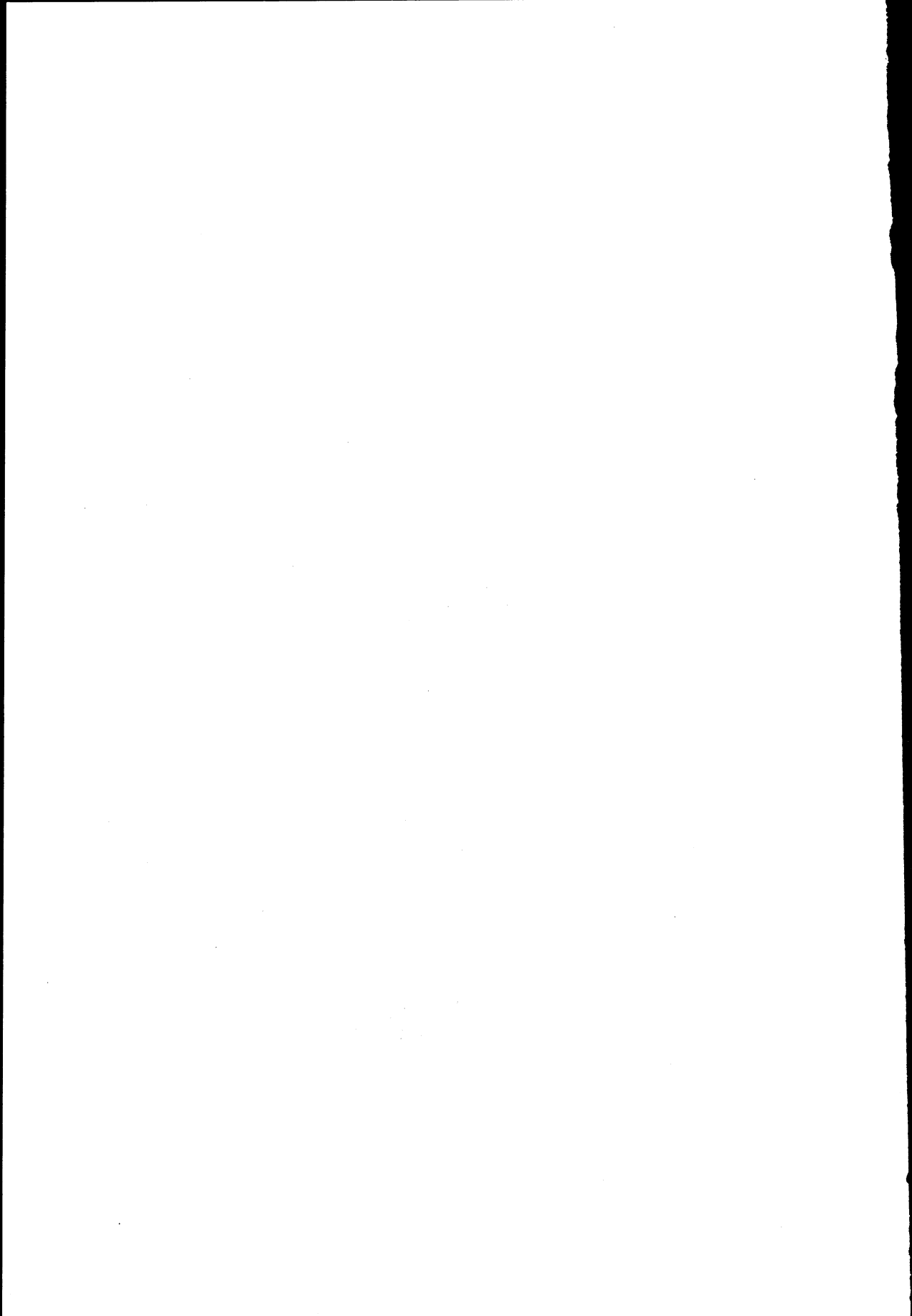
Esto explica el hecho de que los agricultores puedan soportar a corto plazo un incremento de los costes sin necesidad de un aumento del precio de los productos en la misma proporción, manteniendo el mismo margen monetario. Si no se corrige esta tendencia, se producirá a largo plazo un empobrecimiento del agricultor debido a la disminución de su renta en términos reales.

- c) Se observa en el Cuadro 21 que si los precios de los productos de una actividad aumentan, el margen bruto total también lo hace, y se ha dicho en el apartado a) que cuanto mayor es la actividad en relación con todo el sistema, mayor será el efecto positivo en el margen bruto. De acuerdo con ésto y basándose en el principio de sustitución de productos, el sistema podría ser mejorado incrementando el nivel de la actividad con margen bruto más alto, pero entonces cualquier otra actividad competitiva tendrá que ser reducida. La dificultad se presenta cuando tratamos de establecer el punto en el cual las actividades ovina y vacuna se hacen competitivas. Por esta razón y por lo expuesto anteriormente se pensó que la mejor forma de estudiar las consecuencias de algunos tipos de decisiones era el utilizar el modelo en su variante dinámica y estocástica simulando así sus variaciones y su comportamiento a largo plazo. Los ejemplos considerados en el experimento 5.3.14. y las conclusiones dadas allí nos parece son suficientes para mostrar la utilidad del método seguido y la infinita gama de alternativas que pueden ser estudiadas, pero el agricultor, en base a sus objetivos, preferencias y estimaciones subjetivas de los acontecimientos futuros, limitará las alternativas a considerar. Si podemos llegar a predecir el comportamiento del sistema bajo unos supuestos determinados, no cabe duda que el proceso de la toma de decisiones sería mucho más sencillo. Por último, quedó patente que es posible diseñar y modelizar nuevos sistemas. Lo expuesto hasta aquí, con los resultados logrados y las conclusiones hechas, esperamos den una guía para diseñar nuevos y mejores sistemas y que el modelo, usado en su variante estocástica, sirva para comprobar su factibilidad y para predecir y comparar sus resultados con los sistemas actuales y con otros nuevos.

El experimento 5.3.14. antes mencionado, es sólo un ejemplo del uso del modelo para estos fines.



APENDICES



APENDICE 1

OTRAS RELACIONES MATEMATICAS Y DETALLES DEL MODELO

Ingestión de materia seca potencial (DMI)

La función que utilizamos para animales en crecimiento:

$$\frac{d(DMI_j, dt)}{dt} = 0,0314 W_j, t - 0,00002 W^2 j, t$$

es también usada para terneros lactantes, pero en este caso la materia seca ingerida aparte de la leche se disminuirá en 0,129 kg, que corresponde a la materia seca contenida en un kg de leche. Por lo tanto, añadimos a la función anterior el término $- 0,129 Y$, donde Y es la cantidad de leche producida por día.

En algunos casos, y al no disponer de ecuaciones para expresar la materia seca ingerida, se hicieron muchos supuestos. Se empezó dando parámetros mensuales que determinarían la DMI por animal y día, pero finalmente se adoptaron unas funciones del peso del animal y de la leche producida por día porque daban resultados más factibles y realistas. Así, por ejemplo, para las ovejas en período de lactancia se adoptó la función:

$$\frac{d(DMI_j, dt)}{dt} = 0,2 + 0,01 W_j, t + 0,86 Y$$

asumiendo la necesidad de un equilibrio entre los requerimientos de energía diarios y la ingestión de materia seca de calidad media (digestibilidad 60 por ciento ó 9 ME/ kg DM).

Instrucción para evitar alimentos de muy baja calidad

Con el fin de que los animales sean alimentados en primer lugar con pastos, si el mismo esta disponible se incorporan ciertas instrucciones en el modelo, pero estas dejan de ser efectivas cuando el pasto es muy escaso y de mucha peor calidad que el heno.

Se establecen unos límites de calidad del pasto para cada clase de animal, por debajo de los cuales se les ofrece heno como alimento suplementario para garantizar una dieta con esa calidad mínima.

Estado en los ciclos de reproducción de los animales reproductores

Ciertas rutinas del modelo calculan el estado dentro de los ciclos de producción de los animales en cada período de tiempo. De esta manera se calculan para cada período el mes de lactación o los meses de gestación de las reproductoras.

Rendimiento lechero de las vacas

Se sabe que el máximo de producción de leche se consigue en las vacas aproximadamente 2 meses después de parir y a partir de entonces empieza a declinar a un 2,5 por ciento cada semana. Se estimó que la curva de lactación podía ser sustituida por dos ecuaciones lineales que se interceptaran en el punto de máxima producción, dando una aproximación suficiente para el cálculo de leche producida por vaca y día.

Al avanzar el tiempo t en el modelo, el rendimiento lechero diario aumentará o disminuirá de acuerdo con las siguientes funciones:

$$Y_1 = \frac{1}{1,1} YP + \frac{YP - YP/1,1}{2} t = 0,91 YP + 0,0454 YP t$$

$$Y_2 = YP - 0,1 YP (t-2) = YP (1 + 0,2 - 0,1 t) = YP (1,2 - 0,1 t)$$

donde: YP = máximo de la producción de leche.

t = mes de lactación.

INCREMENTO DEL PESO VIVO DEBIDO A LA PREÑEZ

Tuvimos que tener en cuenta este factor para, al utilizar el modelo, obtener soluciones factibles, ya que la variable peso interviene en la mayoría de las funciones del subsistema animal. La única alternativa que pudimos seguir fue considerar que el peso de las reproductoras aumentará en la misma proporción con que lo hacen sus requerimientos de energía durante la preñez.

Partiendo de los supuestos de que los aumentos totales de peso debido a la cría y tejidos asociados son 60 kg y 5 kg, que los requerimientos de energía por preñez pueden ser representados por las ecuaciones exponenciales:

$$RP_1 = a \cdot e^{0,0106 t}$$

$$t = \text{número de días de gestación}$$

donde

$$RP_2 = b \cdot e^{0,0072 t}$$

$$a \text{ y } b = \text{constantes}$$

y que la longitud de gestación son 283 y 147 días, respectivamente para las vacas y ovejas, podemos establecer estas proporciones:

$$\frac{\Delta W_1}{60} = \frac{e^{0,0106 t} - e^{0,0106 (t-1)}}{e^{0,0106 \times 283} - e^0}$$

$$\frac{\Delta W_2}{5} = \frac{e^{0,0072 t} - e^{0,0072 (t-1)}}{e^{0,0072 \times 147} - e^0}$$

considerando período de un mes podemos despejar y obtener las ecuaciones:

$$W_1 = 0,8888 - 0,333 KTC \quad (\text{para vacas preñadas})$$

$$W_2 = 0,5267 - 0,2 KTE \quad (\text{para ovejas preñadas})$$

donde KTC y KTE son los meses de gestación respectivos.

APENDICE 2

DEFINICION DE LAS PRINCIPALES VARIABLES DEL MODELO

N =	año o número de pases.
I =	mes.
L =	tipo de pasto o cultivo.
J =	clase de animal.
TP (L) =	producción del pasto o cultivo L.
UL (L, N) =	terreno cultivado de pasto o cultivo L.
PH (L, N) =	producción por hectárea.
PM (I, L, N) =	producción de TP disponible cada mes.
TPM (I, L) =	hierba viva de cada alimento L durante mes I.
SUMTP =	"pool" de hierba viva.
EV (L, N) =	energía metabolizable (ME)/kg materia seca (DM), L.
EPM (I, L) =	ME total de cada L.
SUME =	ME total producida en el mes I.
GRASS =	producción de gramíneas en SUMTP.
EDG =	ME/kg DM en SUMTP.
Y =	producción lechera (kg día) de las vacas.
LM =	mes de lactación.
YP =	rendimiento máximo de leche.
KALD =	mes de nacimiento terneros.
LAMD =	mes de nacimiento de corderos.
PF (I, J, N) =	proporción respecto a madres de los animales J.
W (I, J, N) =	peso vivo del animal J en el mes I.
AN (I, J) =	número de animales de clase J en el mes I.
CM =	producción lechera (kg/día) de las ovejas.
DMI (I, J) =	materia seca ingerida por animales J durante I.
SUMI =	Materia seca total ingerida durante I.
SISHS =	materia seca ingerida por animales y meses a determinar.

SHSHAY =	heno consumido por animales y meses a determinar.
DH =	"pool" de hierba muerta (producción en meses anteriores).
D =	diferencia materia seca producida e ingerida durante mes I.
EVD =	ME/kg de la dieta.
DHU =	cantidad de alimentos tipo DH ingeridos.
HAY =	cantidad de heno consumida durante el mes I.
SU =	heno suplementario para mejorar la dieta y la ME.
GLTI =	cantidad de gramíneas no consumidas en cada mes.
ERDM =	concentración de la ME en la dieta.
RM (I,J) =	requerimiento de ME para mantenimiento.
RML (I,J) =	requerimiento de ME para producción de leche.
RPE (I,J) =	requerimiento de ME para la gestación.
KTC y KTE =	mes de la gestación (vacuno y ovino).
ER (I,J) =	requerimientos totales de ME animales J.
SUER =	requerimientos totales de ME en el mes I.
EP (I,J) =	ME disponible para producción.
WG (I,J) =	pérdida o ganancia de pesos vivos.
EG =	ME eficiente para producción.
EC =	efecto de la gestación sobre el peso vivo.
K =	vacuno (1) u ovino (2).
P (1,K,N) =	número de animales reproductores.
P (2,K,N) =	meses de desvieje.
P (3,K,N) =	meses de venta de productos.
P (4,K,N) =	porcentajes de desviejes.
P (5,K,N) =	porcentaje animales vendidos.
P (6,K,N) y P (7, K)=	precios productos ganaderos.
P (8,K,N) =	proporción machos/hembras.
P (9,K,N) =	depreciación machos.
P (10,K,N) =	costes variables por cabeza.
OUT (K) =	ingresos por ventas desvieje.

OUTP (K) =	ingresos por ventas productos ganaderos.
RCBR (K) =	total depreciación de los machos.
TOTOUT =	ingresos totales.
VCA (K) =	costes variables actividades animales.
CP (L) =	costes variables por hectárea de los pastos o cultivos.
VCH (L) =	costes variables totales de los cultivos L.
SUMVC =	costes variables de la explotación.
GM =	margen bruto de explotación.
PV =	valor actual de la serie de márgenes brutos.
AGM =	margen bruto medio.
VARGM =	varianza del margen bruto.

RESUMEN

En la introducción se mencionaron los antecedentes de este trabajo, el problema a investigar y la metodología empleada.

Los resultados logrados con el modelo y sus análisis podrían quedar sintetizados con las siguientes afirmaciones:

1. Es importante llevar a cabo un buen manejo del pastoreo y mantener la adecuada carga ganadera, para así conseguir un mejor uso de los recursos alimenticios evitando su despilfarro y consumiendo los pastos cuando su valor nutritivo es más alto.
2. Quedó suficientemente subrayada la importancia de obtener los mejores índices posibles de concepción, fertilidad y mortalidad, que deberán ser considerados en primer lugar.
3. Para evitar las limitaciones de la producción estacional deberíamos considerar la posibilidad de introducir especies nuevas de pastos o mezcla de ellos.
4. La intensificación del sistema mediante el aumento de la carga ganadera no mejora el resultado final si se tienen en cuenta los costes fijos marginales en los que se incurre, pero combinada con una alteración de las fechas de nacimiento y de la dimensión relativa de las actividades podrían conseguir unos resultados favorables.
5. El uso de fertilizantes en pastos naturales y el aumento de la superficie arable, puede no producir ningún beneficio cuando las circunstancias son tales que no se desplaza ninguna limitación del sistema.
6. La falta de datos y de información, y el imperfecto conocimiento de los factores y sus relaciones, han sido las principales dificultades encontradas al construir el modelo. Esto nos ha obligado a hacer ciertos supuestos y simplificaciones por lo que tenemos que admitir que dicho modelo es solo una aproximación de la realidad. Sin embargo creemos que esta aproximación es suficiente para alcanzar los objetivos de este estudio.
7. La escasez de datos también complica el proceso de validación del modelo en su vertiente estocástica y dinámica, ya que para ello hubiesemos necesitado una enorme cantidad de datos y hacer complejos análisis estadísticos sobre los mismos, lo que hace que el proceso de verificación no sea factible dentro del tiempo y recursos disponibles. La única alternativa para aceptar el modelo ha sido considerarlo válido en tanto los datos y relaciones dados dieron resultados factibles y que no diferían demasiado del sistema real.
8. Por otro lado, el proceso de construir y experimentar con el modelo ha revelado la necesidad de obtener ciertas informaciones que no están disponibles en la actualidad con la exactitud requerida.

Efectuar un estudio del sistema mediante simulación, puede dar un mejor conocimiento de su comportamiento y de los factores y sus relaciones. También ha ayudado a diferenciar los factores y componentes importantes del sistema de aquellos otros que no lo son tanto.

Estos problemas y logros mencionados nos pueden ayudar en el proceso de descubrir y establecer prioridades de investigación, puesto que aquellos factores y componentes del sistema que han tenido mayor influencia en los resultados obtenidos, a los cuales el modelo ha sido más sensible y de los cuales poseemos un conocimiento insuficiente, deberían ser investigados en primer lugar.

9. Se ha pensado que el modelo puede ser utilizado para evitar tomar decisiones equivocadas y para seleccionar la mejor de las posibles alternativas que normalmente el agricultor experimentado tiene en su mente, si las simulamos anteriormente a su ejecución.

A pesar de que un estudio de simulación requiere habilidad y conocimientos especializados, es al mismo tiempo un ejercicio estimulante y excitante que podría impulsar la cooperación interdisciplinaria tan necesaria en nuestros tiempos. Si esta cooperación consistiera en la intervención de agricultores, extensionistas y diferentes especialistas e investigadores para conseguir un mejor conocimiento del comportamiento de todo el sistema, si el método de estudio expuesto aquí resulta ser una buena herramienta para ello y para tomar mejores decisiones, este trabajo quedaría justificado.

SUMMARY

This paper is the translation into Spanish with some minor changes, of the Thesis submitted by the author as partial fulfillment of the requirements for the degree of M. Sc. at Reading University (U.K.) in September, 1977.

The antecedents of this study are in a joint project, INIA/World Bank/FAO, carried out in the dry regions of Southern Spain on methods of increasing dry matter production from rain-fed grasslands. In the project's present stage, the emphasis is on pasture utilization to increase meat production.

Making good use of these improved grasslands might imply alterations within the traditional livestock production systems or even drastic changes. The characteristic season variation in grassland production — due to the typical mediterranean long dry periods — means that most food consumed during these periods has been produced some months before and must be preserved either on the ground or as hay or silage, which implies a cost.

The aim is to establish a livestock production system which would match food requirements with availability and at the same time increase the farm financial returns. This study is an attempt to investigate the problem using a simulation model.

A description of the farming systems is made in Section 1. Section 2 makes a qualitative revision of the physical and biological factors affecting these systems; the study method and the reasons for adopting it are explained in Section 3. Section 4 is dedicated to the construction of the model and Section 5 deals with the experiments and results. Finally, conclusions and recommendations are made.

The conclusions are:

1. It is important to establish rational grazing management and maintain the right stocking density so as to make the best use of food resources by consuming pasture when the nutritive value is higher, and avoiding unnecessary waste.
2. The significance of obtaining a good animal performance has been sufficiently underlined, so it should be one of the farmer's main concerns.
3. The possibility of introducing other pasture species or a mixture of them in order to avoid constraints of seasonal production should be considered.
4. Intensifying the system by increasing stocking density seems a convenient means to increase gross margin; but alterations in the calving and lambing date and in the proportional size of these enterprises are likely to be necessary in order to make this worthwhile once the extra fixed costs have been considered.
5. The use of fertilizer on natural pasture and the increase of arable land, within the present situation of the system under study, appear to be worthless.
6. The lack of data, information and knowledge about factors and their relationships was one of the main difficulties found when building the model. Assumptions and simplifications had to be made, which then produced an approximated model; nevertheless, it is felt that this approximation is sufficient to meet the objectives of this study.
7. This problem is even worse when one intends to validate the model, since the amount of data and the statistical analysis needed to thoroughly validate a stochastic and dynamic model could be so great, and the process of validation so expensive, that it can hardly be considered practical or economic. A subjective acceptance of the model has been the only alternative left once the results achieved did not differ seriously from those of the real system.
8. On the other hand, the processes of building and experimenting with the simulation model revealed the need for relevant information not actually available. Undertaking a simulation approach has resulted in a better understanding of the behaviour of the system, its factors and relationships; it has helped to separate the important factors and components of the system from the insignificant ones. These features can assist in the processes of discovering and stabilising research priorities, since those factors and

component parts of the system which had greater influence on the results, and to which the model has been more sensitive and about which there is insufficient knowledge, should be studied first.

9. The model could also be used to avoid wrong decisions and to select the best of a number of possible alternatives normally present in the mind of any experienced farmer, by simulating them prior to their execution.

Although a simulation study requires many skills and specialised knowledge, it is at the same time a stimulating and exciting exercise which should encourage interdisciplinary co-operation. This co-operation could be between farmers, advisers, specialists, and research workers, and the simulation approach used in this study could give them a better understanding of the behaviour of the system and a tool for studying it. If this happens and better decisions can be made, then this study is justified.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a todos aquellos que me han dado el coraje y consejos necesarios para la elaboración de éste trabajo: Mr. FINLAYSON, especialista en "gestión de explotaciones" de la FAO, quien primero me recomendó seguir el curso de M. Sc, a mis colegas del INIA en Badajoz, y de la ADG en Sevilla, por su contribución e información; a los Drs: BULLER y AYRE-SMITH, coordinadores nacional y regional, respectivamente, del proyecto INIA/BIRF, por su continua preocupación e interés; al Dr. DALTON por introducirme entusiastamente en las técnicas de simulación; al Dr. J. PEARCE, al Dr. D. LLOYD y al Dr. R.J. ESSLEMONT por sus sabios consejos durante el desarrollo de este estudio en READING; al Dr. DIEZ PATIER a J.A. SANS y a Angel G. TORRES, por sus sugerencias respecto a la traducción, a ROSAURA BLANCO, CRISTINA REDARD y CARMEN R. RODRIGUEZ, por la diligencia al mecanografiarlo. Finalmente, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi esposa, por su constante ayuda y enorme paciencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACKOFF R.L., GUPTA S.L., MINAS J.S. 1962. *Scientific method: Optimising applied research decisions*. John Wiley & Sons, New York.
- AGRAWAL R.C., HEADY E.O. 1972. *Operations research methods for agricultural decisions*. Iowa State Univ. Press. Iowa.
- ANDERSON J.R. 1972. Economic models and agricultural production systems. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9, 77.
- ARMSTRONG J.S. 1971. Computer modelling using interactive facilities, en: Dent and Anderson (Ed.), *Systems Analysis in Agricultural Management*. Wiley International.

- ARMSTRONG J.S. 1972. Getting models off the ground. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:104.
- ARNOLD G.W., CAMPBELL N.A. 1972. A model of a Ley Farming System with particular reference to a sub-model for animal production. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:23.
- BARNARD C.S. 1975. Data in agriculture. *Journal of Agricultural Economics*, XXVI, (3).
- BARNARD D.S., NIX J.S. 1973. *Farm. Planning and Control*. Cambridge Univ. Press.
- BROUGHAM R.W. 1970. Agricultural research and farming practice. *Proc. XI Int. Grass. Conf.*, 120-126.
- COOPER M.Mc.G., MORRIS D.W. 1973. *Grass Farming*. Farming Press.
- CRESPO D.C. 1970. Some agronomic aspects of selecting subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) from portuguese ecotypes. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*
- CRISTIAN K.R., *et al.* 1972. Optimisation of a grazing management system. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:124.
- CRISTIAN K.R., *et al.* 1974. A model for decision making in grazing management. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 10.
- CHARLTON P.J. 1970. Computer simulation and its role in the control of organizations. *Journal of the Institute of Measurements and Control*, 3,(3).
- CHARLTON P.J., THOMPSON S.C. 1970. Simulation of agriculture system. *Journal of Agricultural Economics*, XXI, (3):373.
- CHARLTON P.J., STREET P.R. 1970. Some general problems involved in the modelling of economic systems on a digital computer, en: J.G.W. Jones (Ed.), *The Use of Models in Agricultural and Biological Research*. GRI.
- CHARLTON P.J. 1971. Computer language for system simulation, en: Dent and Anderson (Ed.), *Systems Analysis in Agricultural Management*. Wiley International.
- CHARLTON P.J. 1973. Ph.D. Thesis, University of Reading, Reading, Inglaterra.
- CHARLTON P.J., STREET P.R. 1976. The practical application of bio-economic models, en: Dalton (Ed.), *Study of Agricultural Systems*. Applied Science Publishers.

- CHURCHMAN C.W. 1973. Systems, en: Stanford L. Optner (Ed.), *Systems Analysis*. PenguinBooks.
- CHUDLEIGH P.D., FILAN S.J. 1972. A feed index system for simulating stocking rate adjustment in arid areas. *Research Series*, n. 2. The University of New South Wales, Australia.
- CHUDLEIGH P.D., FILAN S.J. 1972. A simulation model of an arid zone sheep property. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 16:183.
- DAVISON J.L., GIBSON A.H., BIRCH J.W. 1970. Effects of temperature and defoliation on growth and nitrogen fixation in subterranean clover. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 542.
- DENT J.B., ANDERSON J.R. 1971. *Systems Analysis in Agricultural Management*. John Wiley & Sons, New York.
- DENT J.B. CASEY H. 1967. *Linear Programming and Animal Nutrition*. Crosby Lockwood & Son, Ltd.
- DILLON J.L. 1968. *Analysis of Response in Crop and Livestock Production*. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra.
- DILLON J.L. 1971. Interpreting systems simulation output for managerial decision-making. en: Dent and Anderson (Ed.), *Systems Analysis in Agricultural Management*. Wiley International.
- DUCKHAM A.N., MASEFIELD G.B. 1971. *Farming Systems of the World*. Chatto & WINDUS, London.
- EDELSTEN *et al.*, 1973. A model of ewes with lambs grazing at pasture. *Internal Report*, 260,. Grassland Research Institute, Hurley, Inglaterra.
- EVANS T.R. 1970. Some factors affecting beef production from subtropical pasture in the coastal lowlands of Southeast Queensland. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 803.
- FREER M. *et al.* 1970. Simulation of summer grazing. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 913.
- GOODALL D.W. 1970. Use of computers in the management of semi-arid grazing lands. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 917.
- GORDON G. 1969. *System Simulation*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- GREIG I.D. 1972. Beef production models in management systems. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 9:89.

- GRIFFIS D.O. 1973. *A Method of Building Simulation Models in Matrix Format with Illustrations of its Application in Agriculture*. M. Phil. Thesis, University of Reading, Inglaterra.
- HALTER A. N., DEAN G.W. 1965. Simulation of a california range feedlot operation. *Giannini Foundation, Research Report*, 282,. University of California, Davis, pp. 125.
- HEADY E. O., CANDLER W. 1958. *Linear Programming Methods*. Iowa State University Press, Iowa.
- HEADY F. 1975. *Rangeland Management*. McGraw-Hill.
- HEINEMANN W.W. 1970. Dual grazing of irrigated pastures by cattel and sheep. *Proc. XI. Grass. Congr.*, 810.
- HENDRICKSEN R.E. 1970. The productivity under grazing of *Avena strigosa* alone and in combination with *Medicago sativa*. *Proc. XI. Int. Grass. Congr.*
- HUGHES R. 1970. Factors involved in animal production from temperate pastures. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, A 31.
- HUTCHINSON K.J. 1972. Modelling soil-plant-animal systems. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:10.
- LLOYD D.H. 1970. The development of farm business analysis and planning in Great Britain. Study 6, Department of Agriculture, University of Reading, Inglaterra.
- MAFF 1975. Energy allowances and feeding systems for ruminants. *Technical Bulletin 33.MAFF*.
- MARTIN F.F. 1968. *Computer Modelling and Simulation*. John Wiley & Sons, Inc.
- MARTIN W.E., BERRY L.J. 1970. Use of nitrogenous fertilizers on California rangeland. *Proc. XI Int. Grass Congr.*
- Mc ALPINE, J.R., 1970. Estimating pasture growth and droughts from simple water balance models. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 484.
- McKEOWN N.R., SMITH R.C.G. 1970. Seasonal pasture production, liveweight change and wool growth of sheep in a mediterranean environment. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 875.
- McKINNEY G.T. 1972. Simulation of winter grazing on temperate pasture. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:31.

- MEIR R.C., NEWELL W.T., PAZER H.L. 1969. *Simulation in Business and Economics*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- MILFORD R., MINSON D.J. 1966. The feeding value of tropical pasture, en: William Davis and C.L. Skidmore (Ed.), *Tropical Pastures*. Faber & Faber.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, INIA. 1972. *Serie del Mapa Agronomico Nacional*. Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1974-1977. *Boletin Semanal de Precios Agrarios*. Madrid.
- MIZE J.H., GRADY C.J. 1968. *Essentials of Simulation*. Prentice-Hall, Inc.
- NAYLOR T.H., BALLINTEY J.L., BURDICK D.S. 1968. *Computer Simulation Techniques*, John Wiley & Sons, New York.
- PATTEN B.C. 1971. A primer for ecological modelling and simulation with analog and digital computers, en: B.C. Patten (Ed.), *System Analysis and Simulation in Ecology*. Academic Press.
- PHILLIPS J.B. 1971. Statistical methods in systems analysis, en: Dent and Anderson (Ed.), *Systems Analysis in Agricultural Management*. Wiley International.
- POWER J.F. 1970. Nitrogen management of semi-arid grasslands in North America. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*
- PUGH G.L., 1973. *An Approach to Business Simulation as an Aid to Farm Management Decision Making*. Ph. D. Thesis, University of Reading. Inglaterra.
- REEVES G.W., WILLOUGHBY W.M. 1972. Discussion on economic models and agricultural production systems. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:133.
- RICKARD D.S., FITZGERALD P.D. The effect of soil moisture and irrigation on pasture production in Canterbury, New Zealand. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 487.
- SAVELLE G.D., HEADY H.F. 1970. Mediterranean annual species: their response to defoliation. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*, 584.
- SPEEDING C.R.W. 1970. The relative complexity of grassland systems. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*
- SPEEDING C.R.W. 1976. The study of agricultural systems, en: G.E. Dalton (Ed.), *Study of Agricultural Systems*. Applied Science Publishers.

- THIERAUF R.J., GROSSE R.A. 1970. *Decision Making through Operations Research*. John Wiley & Sons Inc.
- TREBECK D.B. 1972. Simulation as an aid to research into extensive beef production. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:94.
- VAN DYNE G.M. 1970. A system approach to grasslands. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*
- VICKERY P.J., HEDGES D.A. 1972. A productivity model of improved pasture grazed by Merino sheep. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9.
- WHITE D.H. 1972. Computing science and the analysis of farm systems. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9:116.
- WILLIAM E., BERRY L.J. 1970. Use of nitrogenous fertilizers on California rangeland. *Proc. XI Int. Grass. Congr.*
- WRIGHT A. 1971. Farming systems, models and simulation, en: Dent and Anderson (Ed.), *Systems Analysis in Agricultural Management*. Wiley Internacional.
- WRIGHT A., DENT J.B. 1969. The application of simulation techniques to the study of grazing systems. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 13:144.
- ZUSMAN P., AMIAD A. 1965. Simulation: a tool for farm planning under conditions of weather uncertainty. *Journal of Farm Economics*, 47:574.

